

VISNYK
OF THE LVIV
UNIVERSITY

ВІСНИК
ЛЬВІВСЬКОГО
УНІВЕРСИТЕТУ

Series Geology

Серія геологічна

Issue 40

Випуск 40

Scientific journal

Збірник наукових праць

Published 1 issue per year

Виходить 1 раз у рік

Published since 1962

Виходить з 1962 р.

Ivan Franko
National University of Lviv

Львівський національний
університет імені Івана Франка



Видавничий дім
«Гельветика»
2026

Друкуються за ухвалою Вченої Ради
Львівського національного університету
імені Івана Франка
протокол № 6/4 від 29 квітня 2026 р.

Реєстрація суб'єкта у сфері друкованих медіа:
Рішення Національної ради України з питань
телебачення і радіомовлення № 1877
від 30.05.2024 року. Ідентифікатор медіа: R30-04892

На підставі наказу Міністерства освіти і науки України № 1309 від 25.10.2023 р.
(додаток 4) збірник внесений до Переліку наукових фахових видань України (категорія «Б»)
у галузі природничих наук (спеціальність Е4 – Науки про Землю).

According to the Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine as of 25.10.2023 № 1309
(annex 4), the collection is included in the List of Scientific Professional Editions of Ukraine
(category "B") on natural sciences (specialty E4 – Earth sciences).

Суб'єкт у сфері друкованих медіа – Львівський національний університет імені Івана Франка
(вул. Університетська, буд. 1, м. Львів, 79000, zag_kan@lnu.edu.ua, (032) 239-41-22)
Media entity – Ivan Franko National University of Lviv (79000, Universytetska Str., 1, Lviv,
zag_kan@lnu.edu.ua, (032) 239-41-22)

У збірнику публікують наукові праці з актуальних проблем загальної та регіональної геології,
геотектоніки, геодинаміки, геології корисних копалин, геофізики, стратиграфії, петрології, літології,
седиментології, екології, гідрогеології, історії геології, геонформаційних систем та технологій
у науках про Землю.

The scientific journal publishes papers on current problems of general and regional geology,
geotectonics, geodynamics, mineral geology, geophysics, stratigraphy, petrology, lithology, sedimentology,
ecology, hydrogeology, history of geology, Geoinformation Systems and Technologies in Earth Sciences.

Редакційна колегія:

Канд. геол. наук, доц. *С. І. Ціхонь* (головний редактор); д-р геол. наук, проф. *М. М. Павлуць*
(заступник головного редактора); канд. геол. наук, доц. *Л. В. Генералова* (відповідальний секретар);
д-р геол. наук *О. М. Гнилко*; канд. геол.-мін. наук, доц. *А. В. Іваніна*; д-р геол. наук, *С. В. Мичак*;
д-р геол. наук, проф., чл.-кор. НАН України *Н. Я. Радковець*; Ph.D., проф. *М. Бомбель* (Польща);
Dr., проф. *Саткунас Й.* (Литва); Dr. hab., проф. *М. Транос* (Греція).

Editorial Board:

Associate Professor *S. Tsikhon* – Editor-in-Chief,
Associate Professor *M. Pavlun* – Deputy Editor-in-Chief.

Відповідальний за випуск к. геол. наук *Сергій Ціхонь*
Упорядники: *Л. Генералова, Ю. Віхоть*

Адреса редколегії: Editorial office address:

Львівський національний
університет імені Івана Франка,
вул. Грушевського, 4,
м. Львів, Україна, 79005
тел.: (038) (032) 272-80-56

Ivan Franko National
University of Lviv,
Hrushevskoho Str., 4,
Lviv, Ukraine, 79005
tel.: (038) (032) 272-80-56

Комп'ютерне верстання *Н. Кузнєцова*

Статті у виданні перевірені на наявність плагіату за допомогою програмного забезпечення
StrikePlagiarism.com від польської компанії Plagiat.pl.

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ, ВИДАВЦЯ і ВИГОТОВЛЮВАЧА:
Видавничий дім «Гельветика»
65101, Україна, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1
Телефони: +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08
E-mail: mailbox@helvetica.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 7623 від 22.06.2022 р.

Дата розміщення онлайн: 29.05.2026.

Дата друку: 05.06.2026.

Формат 70x100/16

Ум. друк. арк. 14,95.

Тираж 100 прим. Зам. 0526/467

© Львівський національний
університет імені Івана Франка, 2026

ISSN 2786-6548 (Online)

ISSN 2078-6425 (Print)

УДК 553.46+553.411]:550.4
DOI <https://doi.org/10.30970/vgl.40.01>

ДЕЯКІ ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ ТЕРМОБАРОГЕОХІМІЇ МОЛІБДЕН-ВОЛЬФРАМОВИХ І ЗОЛОТОРУДНИХ ФОРМАЦІЙ

Микола Павлунь <https://orcid.org/0000-0002-8634-6576>

*Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. М. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005
e-mail: mykola.pavlun@lnu.edu.ua*

Прикладний напрямок термобарогеохімії є важливим для реалізації різномасштабних прогнозно-металогенічних робіт і при вирішенні різних геологічних завдань, що потребують розв'язань на різних етапах геологорозвідувального процесу.

Теоретичним підґрунтям термобарогеохімічного прогнозування, розшуків та оцінки зруденіння є стійкість режиму фізико-хімічних умов утворення продуктивних мінеральних парагенезисів. Вони формуються у доволі вузькому діапазоні змін термобарогеохімічних характеристик специфічного за хімічним складом та агрегатно-густинним станом рудоутворювального середовища, що проявляється у фазовому типоморфізмі відповідних родин флюїдних включень практично незалежно від геологічних умов і металогенічної спеціалізації рудних районів. Ця обставина засвідчує виразну конвергентність фізико-хімічних умов і термобарогеохімічних показників розвитку генетично споріднених рудотворчих процесів молібден-вольфрамових, золоторудних та інших формацій.

Не менш важливою передумовою реалізації проблем прикладної термобарогеохімії є мінливість діагностики та просторової екстраполяції градієнтів і трендів цих параметрів (термобарогеохімічна зональність) з визначенням просторового положення зон, які фізико-хімічно сприятливі для розвитку молібден-вольфрамового, золотого чи іншого зруденіння, а також верхньо- і нижньорудних фізико-хімічних рівнів їхнього виклинювання з урахуванням структурно-фаціальних умов рудолокалізації.

Ключові слова: прикладна термобарогеохімія, молібден-вольфрамові і золоторудні формації, конвергентність фізико-хімічних умов і термобарогеохімічних показників, верхньо- і нижньорудні рівні виклинювання зруденіння.

Постановка проблеми. Прикладні завдання геологорозвідувального процесу розв'язують досить давно. Однак теоретичні підґрунтя термобарогеохімічного локального прогнозування, пошуків та оцінки зруденіння розкрито фрагментарно, особливо через розробку пошуково-оцінювальних критеріїв та ознак. І ці аспекти прикладної термобарогеохімії тут висвітлені.

Мета. Показати, яким чином і на якому термобарогеохімічному підґрунті це розробляється і що покладено в основу термобарогеохімічного прогнозування, пошуків і оцінки зруденіння.

Виклад основного матеріалу. Серед різних напрямів сучасної ТБГХ – теоретичного, аналітичного, генетичного і прикладного – саме прикладний найважливіший як з погляду реалізації різномасштабних прогнозно-металогенічних робіт, так і, особливо, при вирішенні геологічних завдань, що потребують розв'язання на різних етапах геологорозвідувального процесу [1, 2, 5] (Павлунь, 1995). Теоретичним підґрунтям ТБГХ-прогнозування, розшуків та оцінки зруденіння є, стійкість режиму фізико-хімічних умов утворення продуктивних

мінеральних парагенезисів. Вони формуються в доволі вузькому діапазоні зміни ТБГХ-параметрів специфічного за хімічним складом та агрегатно-густинним станом рудотворного середовища, що проявляється у фазовому типоморфізмі відповідних родин флюїдних включень, практично незалежно від геотектонічних умов і металогенічної спеціалізації рудних регіонів. Ця обставина засвідчує виразну конвергентність фізико-хімічних умов і ТБГХ-показників розвитку генетично-споріднених рудотворних процесів молібден-вольфрамових, золоторудних та інших формацій (Лазько, Ляхов, 1981, Павлунь, 1995).

Не менш важливою передумовою реалізації проблем прикладної ТБГХ є можливість діагностики та просторової екстраполяції градієнтів і трендів цих параметрів (ТБГХ-зональність) з визначенням для різноглибинних формацій просторового положення зон, які фізико-хімічно сприятливі для розвитку молібден-вольфрамового, золотого чи іншого зруденіння, а також верхньо- і нижньорудних фізико-хімічних рівнів їхнього виклинювання з урахуванням структурно-фаціальних умов рудокалізації (Ляхов, 1998; Лазько, Ляхов, 1981; Ляхов, Павлунь, 1995; Дорошенко, Павлунь, 1991). Ці рівні для молібден-вольфрамових родовищ Центрального Казахстану і золоторудних родовищ Східного Узбекистану наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Зіставлення термобарогеохімічних показників нижнього й верхнього рівнів виклинювання та головного поясу поширення молібден-вольфрамових руд на жильних ендоконтактових родовищах

Показники	Верхньорудний рівень	Головний рудний пояс	Нижньорудний рівень
Температура гомогенізації включень, °С	Від 300 до <280	440–300 (280)	>440–430
Тиск, МПа	До 45–50, низькофлукувативні умови	160–50, значні <i>PT</i> -флукуації	Не менше 165–120
Фазово-агрегатний стан включень	Суттєво рідинні включення, наявність CO ₂ (рідкого й газоподібного), відсутність включень з NaCl	Численні включення з твердими кристалами солей галогенідів (NaCl, KCl та ін.)	Суттєво газові та складні вуглекислотно-водно-сольові включення
Гідрохімічний тип розчинів, %-екв.	Гідросилікатно-хлоридно-натровий $F^-O, Li^{+/-} - \frac{HSiO_3^{72-76}}{Na^{+77-79}}$	Фторидно-хлоридно-калій-натровий $F^- (14-18) Li^{+2} \frac{K^{(14-22) Cl^{-(62-72)}}}{Na^{+ (73-70)}}$	Гідросилікатно-натровий $F^- O, Li^{+1} \frac{Cl^{-54} HSiO_3^{46}}{Na^{+73-77}}$
Ознаки пневматолізу	Суттєво газових включень немає	Численні порівняно великі нерівномірно розташовані включення гетерогенного захоплення і критичної густини	Поодинокі включення гетерогенного захоплення і критичної густини, поширені включення “сухих газів”
Ступінь газонасиченості флюїдів	Порівняно низький	Порівняно високий	Найвищий

Водночас при оцінюванні вертикального розмаху сприятливої для рудоконцентрації фізико-хімічної зони на основі градієнтно-векторного аналізу ТБГХ-зональності слід брати до уваги різний ступінь термостатування різноглибинних флюїдів і його обернено-функціональний зв'язок з величиною ΔT як показника інтенсивності зміни *PT*-режиму:

для вулканогенно-гідротермальних і певною мірою пневматолітово-гідротермальних високо- і порівняно флюктуативних процесів з нахрестізохоричним трендом розвитку ΔT значно більший, аніж для низькофлюктуативних метаморфогенно-гідротермальних з близькоізохоричним трендом перебігу процесів.

Таблиця 2

Порівняння термобарогеохімічних і мінералого-фізичних параметрів, що характеризують верхньо- і нижньорудний фізико-хімічні рівні виклинювання продуктивного золотого зруденіння родовищ Кочбулак, Кизил-Алма і рудопроявів Сегенецької площі

Верхньорудний рівень виклинювання	Нижньорудний рівень виклинювання
Температура повної гомогенізації сингенетичних включень 200–190°C і нижче	Температура гомогенізації сингенетичних включень 280–300°C і вище
$K = \text{CO}_2/\text{CH}_4 \approx 25\text{--}30$ у газовій фазі розчинів включень при вмісті у них азоту понад 40–60 %	$K = \text{CO}_2/\text{CH}_4 \approx 1$ у газовій фазі розчинів сингенетичних включень при вмісті у них азоту менше 10–15 %
$K = \text{Na}^+/\text{K}^+ \approx 2,5\text{--}1,0$ і менше у рідкій фазі розчинів включень	$K = \text{Na}^+/\text{K}^+ \approx 4\text{--}5$ і більше у рідкій фазі розчинів сингенетичних включень
Відсутність включень CO_2 або наявність лише низькогустинних включень газоподібної вуглекислоти	Наявність порівняно високогустинних включень рідкого CO_2
Наявність лише суттєво водних включень винятково гомогенного захоплення	Наявність включень з мінералами-“в’язями” і суттєво газових включень
Ступінь газонасичення включень порівняно мінімальна	Ступінь газонасичення включень порівняно максимальна
Параметр D_n піриту – 0–20 %	Параметр D_n піриту – 100 %

Таблиця 3

Фізико-хімічні чинники та ознаки продуктивного золотого зруденіння Бельтау-Курамінського вулканоплутонічного поясу

Рудна формація	Фізико-хімічні чинники		
	Середні термобаричні показники рудоутворювального процесу		Характерні риси хімічного складу і агрегатного стану металонесних розчинів
	Продуктивна стадія	Оптимальний інтервал температур	
Перехідна від приповерхневої субвулканічної золото-сульфідно-кварцової з телуридами до середньоглибинної гіпобісальної золоторудної помірно-сульфідної	310–190°C; 58–32 МПа	280–200°C	Насиченість CO_2 ; явище закипання; сольова концентрація водного розчину – у межах 7–10 % NaCl-екв.

Саме цим, вірогідно, можна пояснити стиснутий по вертикалі і порівняно концентрований (бонанцевий) тип розподілу зруденіння в першому випадку і розтягнутий по вертикалі за порівняно низьких вмістів металу, але з дуже значними запасами – у другому [4].

При цьому особливе значення для прогнозного оцінювання зруденіння має закономірне зростання його вертикального розмаху від перших сотень до кількох тисяч метрів з переходом від слабко- до термостатованих систем рудоконцентрування: уже на ранніх етапах ТБГХ-досліджень перспективних площ і родовищ за конкретними параметричними

показниками впевнено можна дешифрувати різноглибинно-формаційний тип зруденіння і відтак завчасно передбачити вірогідний вертикальний розмах (Павлунь, 2003).

Таблиця 4

**Термобарогеохімічні ознаки продуктивного золотого зруденіння
Бельтау-Курамінського вулканоплутонічного поясу**

Термобарогеохімічні ознаки					
Сприятливі				Несприятливі	
Об'єм газової фази включень при 20°C, %	Наявність рідкої фази CO ₂ , об. %	Кількість та об'єм твердих фаз мінералів-“в'язнів”	Характер співвідношення фази рідкого водного розчину:газу :рідкого CO ₂	Тип гомогенізації сингенетичних включень та їхнє поширення	Типи сингенетичних включень і деякі властивості складу і стану капсульованих розчинів
20–25, при гетерогенізації (закипання) – 20–95	Достатньо характерна, від 10 до 95–97, особливо в середньорудній області	Немає	Вкрай нерівномірний – у рудних стовпах; стабільний – зрідка	У рідку фазу (I) або при однаковій температурі – у рідку і газу (II) фази одночасно, досить поширені	Газові або суттєво газові (винятково), або лише газовойрідинні багатозазові – з об'ємом газової фази >20–25 %, а також суттєво рідинні – з об'ємом газової фази <15–20 %, стабільне співвідношення фаз включень (гомогенне захоплення), відсутність включень з рідкою фазою CO ₂ , переважання в газовій фазі розчинів CH ₄ або N ₂ (>50–60 %)

Наступну предметну кількісну оцінку еродованої і збереженої його частини, яка має принципове значення для вибору методики та напрямів розгортання розвідувальних робіт, отримуємо за відомими формульними обчисленнями.

Вони ґрунтуються, як уже було з'ясовано, на функціональному зв'язку величини палеотермоградієнтів і вертикального поширення зруденіння у відповідних структурно-фаціальних умовах. Як видно з рис. 1, за допомогою простих формул та нескладних графічних побудов оперативного можна обчислити такі параметри зруденіння відповідного формаційного типу: вертикальний розмах і глибину поширення фізико-хімічних зон, сприятливих для розвитку продуктивної мінералізації ($P_{зар}$), її вірогідно найбільш концентрованої (багатої) частини ($P_{к}$), порівняну глибину і коефіцієнти (величину в метрах) ерозійного зрізу (K_e) сполучених чи поодиноких рудовмісних блоків, а також напрям і амплітуду епігенетичних (пострудних) блокових переміщень, перспективи і розмах зон їхнього продуктивного (P_e) і багатого (P'_e) зруденіння нижче рівня сучасної поверхні. Якщо кути падіння рудоносних зон чи рудних тіл $\alpha < 80^\circ$, то праві частини наведених формул треба помножити на $\sin \alpha$ (див. рис. 1).

Для молібден-вольфрамового зруденіння найперспективнішими будуть ділянки, де поширені включення високотемпературних щільних розчинів (400–300°C) фторидно-хлоридно-калій-натрового складу і високої сольової концентрації з мінералами-“в'язнями” (65–26 мас. % NaCl), наявні суттєві флуктуації тиску (від 160 до 50 МПа) і поширені рідинно-газові та газовойрідинні вакуолі, що мають порівняно великі розміри, вкрай нерівномірний розподіл і різко гетерогенний стан.

Для золоторудних формацій типові включення CO₂, законсервовані при 290–180°C в умовах інтенсивної гетерогенізації розчинів з різними співвідношеннями фаз (Г–PCO₂–PH₂O; PCO₂–Г–PH₂O; PCO₂–PH₂O; Г–PCO₂; PCO₂–Г; PCO₂–ГCO₂), поширені включення дво- й однофазового CO₂ з широкими варіаціями густини (для різноглибинних формацій

від 1,02 до 0,4–0,1 г/см³) та одночасною гомогенізацією як у рідку, так і в газову фази. Узагальнення отриманих з цього приводу даних для різноглибинних золоторудних формацій дало змогу синтезувати сприятливі і несприятливі чинники та ознаки зруденіння (табл. 5).



Рис. 1. Принципова схема оцінки вертикального розмаху і витриманості зруденіння з глибиною на підставі ТБГХ-параметрів (величина і тренди ΔT). Пояснення в тексті

З відповідною кореляцією дані цієї таблиці успішно використовують для якісної оцінки та кількісного прогнозування золотого зруденіння в різних золоторудних регіонах (Ляхов, Павлунь, Пізніур, Попівняк, 1995).

Більше того, аналіз фактологічних даних стосовно глибини поширення морфогенетичних типів і складу флюїдних включень молібден-вольфрамових і золоторудних родовищ і екстраполяція стану складних $\text{NaCl-H}_2\text{O-CO}_2$ -систем (Такеноучі, Кенноун, 1968; Малінін, 1979) на природні процеси (Попівняк, 2002; Ляхов, 1989; Павлунь, Пізніур, 1985; Ляхов, Павлунь, 1995) засвідчив, що ранні постмагматичні $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O-NaCl}$ -дистилати перебувають у гомогенному стані нетривалий час, розділяючись шляхом гетерогенізації на фази $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ і $\text{H}_2\text{O-NaCl}$. Перша, менш щільна і більш рухома та стійка в порівняно низькотемпературній області, просторово і, частково, в часі випереджує другу, просувається далеко догори від флюїдогенерувального джерела і формує золоте зруденіння верхньої зони рудно-магматичної колонії. Друга, щільніша і менше здатна до міграції фаза $\text{H}_2\text{O-NaCl}$, стійка при високих температурі й тиску, виявляє свою рудотворну роль на глибині. В цьому, зокрема, відображений тісний геолого-геохімічний зв'язок рідкісно-металевого і золотого зруденіння, адже практично на усіх золоторудних родовищах середньо- і великоглибинних формацій розвинуто ранне високотемпературне рідкіснометалеве зруденіння, яке сформоване із $\text{H}_2\text{O-NaCl}$ концентрованих флюїдів і займає центральну, найродованішу зону відцентрової мінералого-геохімічної зональності (Сергіївське родовище, Україна). Звідси припустимим є твердження, що золоторудні прояви, сформовані

з флюїдів складу $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$, з глибиною можуть бути змінені рідкіснометалевим зруденінням, зобов'язаним своїм походженням діяльності розчинів $\text{H}_2\text{O-NaCl}$.

Таблиця 5

Термобарогеохімічні ознаки розвитку золотого зруденіння різноглибинних формацій

Порівнювані показники		Формації		
		Малосульфідні великих глибин (понад 3–6 км)	Помірно-сульфідні середніх глибин (1,5–2,0 км)	Слабкосульфідні малих глибин (до 1,2–1,5 км)
Сприятливі ознаки	Поширення мінеральних агрегатів із сингенетичними включеннями флюїдів продуктивних стадій	Трифазові водно-вуглекислотні включення з суттєвими варіаціями наповнення в межах їхніх родин	Трифазові вуглекислотноводні, іноді двофазові нестійкого наповнення	Двофазові включення слабкоконцентрованих водних флюїдів із невеликою кількістю розчинених газів; характерна зміна наповнення в межах конкретних родин і на межі мінеральних зон
	Об'єм газової фази в сингенетичних включеннях при 20–25°C, %	Близько 18–22 %, у ділянках закипання розчинів – 18–93 %		15–22%, у ділянках закипання розчинів – 15–95 %
	Наявність і об'єм фази рідкого CO_2 у сингенетичних включеннях при 20–25°C, %	Дуже характерна, місцями виявляється в разі неглибокого охолодження препаратів; об'єм вакуолі від 11 до 100 %		Не виявляється навіть у разі охолодження препаратів
	Наявність у сингенетичних включеннях легкорозчинних твердих фаз (мінералів-“в'язнів”)	Трапляється зрідка		Не трапляється
	Типи гомогенізації сингенетичних включень у мінералах	У рідку фазу або при тій же температурі – у рідку й газову фази; у ділянці верхньої температурної межі характерна суттєва дисперсія вимірювань		Характерна гомогенізація у рідку фазу при однаковій температурі
	Відносна кількість включень у мінеральних агрегатах (декрептоактивність в інтервалі 100–0,0°C)	Різко підвищена порівняно з незолотоносними ділянками (декрептоактивність становить 100n–1000n імпульсів замість рядових 10n)		Порівняно невисока
	Середнє значення температурного градієнта по вертикалі, 0°C на 100 м	8–10 30–35	12–16 35–40	25–30 50–70
Несприятливі ознаки	Поширення мінеральних агрегатів із сингенетичними родинними включень таких типів	Газові та суттєво газові зі стійким наповненням або тільки газово-рідинні та багатофазові з об'ємом газової фази не менше 15–18 %		
	Термобарогеохімічні показники мінералоутворення	$T > 300$ і $< 190^\circ\text{C}$; $P > 100$ і < 50 МПа		$T > 300$ і $< 180^\circ\text{C}$; $P > 20$ МПа

У даному контексті очевидно, що рівні розвитку складних включень розчинів $\text{NaCl-CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ відповідатимуть кореневим частинам рудномагматичних систем. А оскільки

еволюція флюїдів і спряжені процеси рудовідкладання відбуваються здебільшого в зонах рівнонапружених порід (Башкіров, 1970), що розташовані на певній віддалі від синрудної палеоповірки (залежно від формаційного типу родовищ), лише пострудні епігенетичні тектонічні рухи і денудаційні процеси руйнують її цілісність і надають їй клявішно-блокової будови. Звідси й тісне генетичне та просторове сусідство рідкіснометалевого і золотого зруднення в локальному (Сергіївське) і регіональному (золото-молібденовий пояс Східного Забайкалля) – генетично споріднені рудні формації, (за Р. Константиновим, 1973) планах.

Певним свідченням обгрунтованості такої фізико-хімічної моделі подібних механізмів міграції, реакційної взаємодії та просторово-часової еволюції флюїдів, що супроводжують і забезпечують кристалізацію золотих руд, є фазометрична зональність рудного тіла (Павлунь, 2002) як матеріальне відображення просторової латеральної і вертикальної зміни складу та стану розчинів включень (рис. 2).

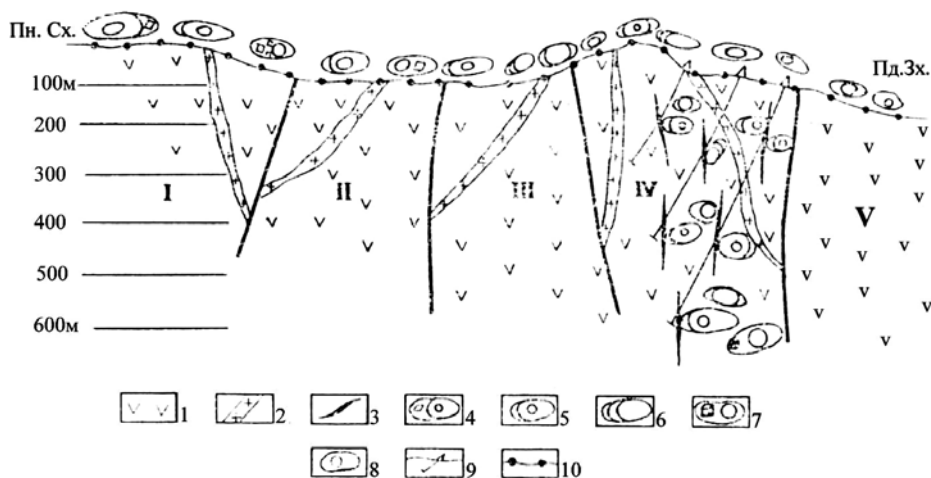


Рис. 2. Схематична фазометрична модель золоторудного поля:

I – андезито-дацити; *2* – дайки кварцових порфірів; *3* – золото-кварцові жили; *4* – складні вуглекислотно-водно-сольові включення; *5, 6* – включення рідкого та газоподібного CO_2 ; *7, 8* – газопо-рідинні багатофазові (водно-сольові з NaCl) і газопо-рідинні включення; *9* – розвідувальні свердловини; *10* – точки відбору проб; I-V – номери суміжних блоків

Фазово-візуальні дослідження включень у пробах, відібраних на поверхні структурно сполучених рудовмісних блоків і з керн розвідувальних свердловин, що розкрили в одному з блоків на різних гіпсометричних рівнях кварцовожильні золоторудні тіла, дали змогу на етапі розшуково-оцінних робіт синтезувати фазометричну модель. Ця генералізована модель водночас має важливе генетичне і практичне значення. Її аналіз засвідчує, що на поверхні ділянок із північного сходу на південний захід чітко простежується закономірна зміна фазового складу включень, яка полягає у зміні родин складних вуглекислотно-водно-сольових, водно-сольових і вуглекислотних включень блоку I родинами водно-сольових включень і включень рідкого CO_2 блоку II. На сучасній поверхні блоку III виявлено лише спільноти включень рідкого й газоподібного CO_2 та водних розчинів критичної густини, а в межах блоку IV – групи аналогічних включень, а також включення гомогенних водних розчинів. У блоці V поширені винятково включення водних розчинів. Зазначимо, що таку ж черговість зміни фазового складу включень, проте вже

у вертикальному розрізі (знизу догори) виявлено на найдетальніше вивченому блоці IV (див. рис. 2).

Навіть просте зіставлення виявлених закономірностей просторового поширення типів включень у блоках дає змогу ототожнювати поверхню блоку II з глибокими горизонтами блоку IV, а середні й частково верхні гіпсометричні рівні блоку IV – з поверхнею блоку III. Звідси випливає, що ступінь еродованості блоків закономірно зменшується в південно-західному напрямі: найбільш еродованим, й отже, найменш перспективним з глибиною є блок I, рівень глибинності якого у блоці IV ще не досягнутий свердловинами. Найбільші перспективи з глибиною і найменшу еродованість, очевидно, має блок V. Отже, дана фазометрична модель допомагає не тільки визначити характер і своєрідність розвитку процесів рудогенезу, а також попередньо оцінити ступінь ерозійного зрізу спряжених блоків, напрям і приблизну амплітуду (в цьому випадку до 500 м) епігенетичних переміщень блоків по розломах і перспективність глибоких горизонтів у кожному з них окремо (Павлунь, 2000).

У контексті обговорення цієї фазометричної моделі доцільно описати таку ж модель жильного тіла, для якого розроблено й описано схему палеотемпературної та агрегатно-щільнісної зональності. Між ними виявлено дуже тісну кореляцію.

Як засвідчили дослідження включень, фазометрична модель жильного тіла відображає закономірну картину просторового поширення типів включень, зумовлену головною особливостями геолого-структурних, здебільшого тріщинних, умов рудолокалізації. Її аналіз дає змогу виокремити дві стовпоподібні зони поширення гетерогенних вуглекислотно-водних розчинів, розділених “мішкоподібною” зоною поширення включень водних розчинів гомогенного захоплення.

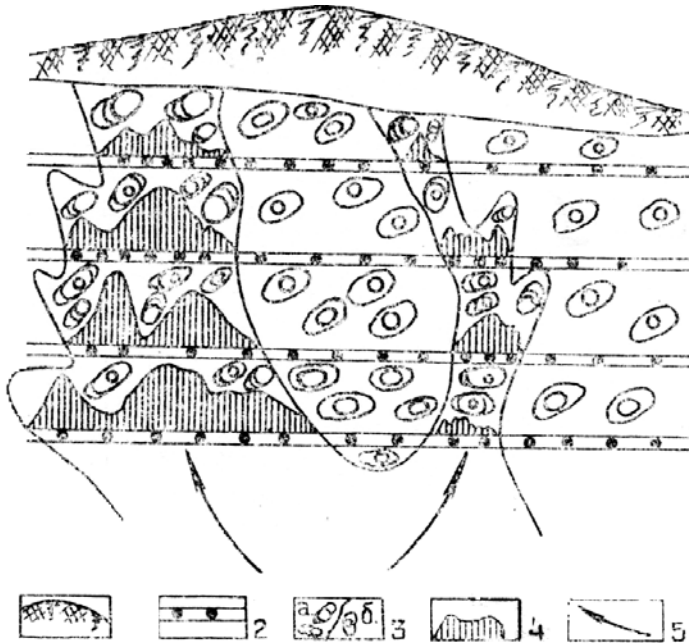


Рис. 3. Фазометрична модель кварцово-жильного тіла одного із золоторудних родовищ:
1 – рівень ерозійного зрізу; 2 – штольні і точки відбору проб продуктивного кварцу; 3 – межі поширення гетерогенних вуглекислотно-водних (а) і гомогенних водних (б) включень;
4 – вміст золота в рудах, ум. од.; 5 – передбачувані напрями руху рудоносних розчинів

Зміна фазового складу та об'єму фаз у включеннях у межах виявлених зон найпомітніша по висхідній і полягає для промислово золотоносних зон у поступовій зміні знизу догори включень головно рідкого CO_2 включеннями порівняно низькогустинного газоподібного CO_2 і в повному їхньому переважанні на верхніх горизонтах рудного тіла. В цьому ж напрямі у включеннях збільшується об'єм рідкого водного розчину, і, навпаки, зменшується об'єм рідкого й газоподібного CO_2 . Співвідношення у цих включеннях об'єму фаз рідкого та газоподібного CO_2 і H_2O на різних горизонтах родовища дає змогу припустити, що з наближенням до поверхні зменшується густина CO_2 (тиск флюїдів) і збільшується інтенсивність їхньої гетерогенізації.

У незолотоносних ділянках на тлі сталого агрегатного складу і стану включень визначено такі зміни: знизу вверху збільшується ступінь наповнення включень рідким водним розчином (зменшується об'єм газового пухирця), що може свідчити про підвищення температури мінералоутворення з глибиною.

Головний практичний висновок, що випливає з аналізу розглянутої моделі, такий: фазовий склад включень можна використовувати для простежування шляхів міграції золотоносних розчинів і оконтурювання рудних стовпів, що очевидно із визначеного прямого кореляційного зв'язку між ступенем золотоносності та зонами поширення типоморфних включень гетерогенних вуглекислотно-водних розчинів (див. рис. 3).

Саме ця та деяка інша важлива інформація в сукупності з матеріалами ТБГХ площинного та стереокартування і аналізом градієнтів просторово-часових моделей рудогенезу слугує надійним підґрунтям для локального ТБГХ-прогнозування та оцінки зруденіння під час вирішення різноманітних завдань на різних етапах геологорозвідувальних і експлуатаційних робіт (Павлунь, 1995). Потрібно лише зазначити, що невідповідність детальності ТБГХ-досліджень флюїдних включень масштабів прогнозних і геологорозвідувальних робіт, як і їх відрив від причинно-пов'язаної геолого-структурної та мінералого-геохімічної інформації, може призвести до невиправданої трати сил, засобів і часу, різкого зниження ефективності й навіть дискредитації усього напрямку.

Висновки та перспективи подальшого дослідження. Стаття показує, що коректні термобарогеохімічні дослідження стадійності і термобаричного режиму формування родовищ, їхньої термобарогеохімічної зональності, трендів і градієнтності процесів рудогенезу, часу і місця поширення продуктивного зруденіння є надійним підґрунтям для обчислення вертикального розмаху і глибини поширення фізико-хімічних сприятливих зон для розвитку продуктивного зруденіння, її відповідно найбільш концентрованої частини, рівень ерозійного зрізу та інші параметри. Стаття не розглядає усі можливі варіанти прикладного застосування термобарогеохімії, але й цих досить загальних цілком достатньо щоб переконатися – прикладна термобарогеохімія розвивається і вдосконалюється.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Принципи термобарогеохімічного прогнозування, пошуків та оцінки золоторудних родовищ на території України / Лазько Є.М., Ляхов Ю.В., Павлунь М.М. та ін. *Вісн. Львів. ун-ту. Сер. геол.* 1992. Вип. 11. С. 25–40.
2. Термобарогеохімія в прикладній геології (пошуки, розвідка та експлуатація родовищ) / Лазько Є.М., Ляхов Ю.В., Павлунь М.М. та ін. *Мінерал. зб.* 1992. № 45, вип. 2. С. 15–21.
3. Кількісне термобарогеохімічне моделювання полів золотого зруденіння в практиці локального прогнозування / Ю. Ляхов, М. Павлунь, І. Попівняк, С. Ціхонь. *Мінерал. зб.* 2001. № 51, вип. 1. С. 22–34.
4. Павлунь М.М. Досвід крупномасштабного прогнозування грейзенового молібден-вольфрамового зруденіння в герцинідах Джунгаро-Балхашья (Центральний Казахстан). *Мінерал. зб.* 2002. № 51, вип. 2. С. 22–33.
5. М.М. Павлунь Термобарогеохімічні засади та прикладні можливості локального прогнозу, пошуків і оцінювання післямагматичного зруденіння *Мінерал. журнал* 2023, 45 (4), с. 66–83 <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.45.04.066>

REFERENCES

1. Lazko, Ye.M., Liakhov, Yu.V., Pavlun, M.M. та ін. (1992). Pryntsypy termobaroeokhimichnoho prohnozuvannya, poshukiv ta otsinky zolotorudnykh rodovyshch na terytorii Ukrainy *Visn. Lviv. un-tu. Ser. heol.* Vyp. 11. S. 25–40.
2. Lazko, Ye.M., Liakhov, Yu.V., Pavlun, M.M. та ін. (1992). Termobaroeokhimiia v prykladnii heolohii (poshuky, rozvidka ta ekspluatatsiia rodovyshch). *Mineral. zb.* № 45, vyp. 2. S. 15–21.
3. Liakhov, Yu. Pavlun, M., Popivniak, I., Tsikhon, S. (2001). Kilkisne termobaroeokhimichne modeliuвання poliv zolotoho zrudennia v praktytsi lokalnoho prohnozuvannya. *Mineral. zb.* № 51, vyp. 1. S. 22–34.
4. Pavlun, M.M. (2002). Dosvid krupnomasshtabnoho prohnozuvannya hreizenovoho molibden-volframovoho zrudennia v hertsynidakh Dzhunharo-Balkhashshia (Tsentralnyi Kazakhstan). *Mineral. zb.* № 51, vyp. 2. S. 22–33.
5. Pavlun, M.M. (2023). Termobaroeokhimichni zasady ta prykladni mozhlyvosti lokalnoho prohnozu, poshukiv i otsiniuvannya pisliamahmatychnoho zrudennia. *Mineral zhurnal.* 45 (4), s. 66-83 <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.45.04.066>

SOME APPLIED ASPECTS OF THERMOBAROGEOCHEMISTRY OF MOLYBDENUM-TUNGSTEN AND GOLD ORE FORMATIONS**Mykola Pavlun**

Ivan Franko National University of Lviv, 4, Hrushevskoho Str., Lviv, Ukraine, 79005
e-mail: mykola.pavlun@lnu.edu.ua

The applied direction of thermobarogeochemistry is important for the implementation of various-scale predictive and metallogenic works and for solving various geological problems that require solutions at different stages of the geological exploration process.

The theoretical basis of thermobarogeochemical forecasting, prospecting and mineralization assessment is the stability of the regime of physicochemical conditions for the formation of productive mineral parageneses. They are formed in a rather narrow range of changes in the thermobarogeochemical characteristics of the ore-forming environment specific in chemical composition and aggregate-density state, which is manifested in the phase typomorphism of the corresponding families of fluid inclusions practically regardless of the geological conditions and metallogenic specialization of the ore regions. This circumstance testifies to the distinct convergence of physicochemical conditions and thermobarogeochemical indicators of the development of genetically related ore-forming processes of molybdenum-tungsten, gold-ore and other formations.

An equally important prerequisite for the implementation of the problems of applied thermobarogeochemistry is the variability of diagnostics and spatial extrapolation of gradients and trends of these parameters (thermobarogeochemical zonation) with the determination of the spatial position of zones that are physicochemically favorable for the development of molybdenum-tungsten, gold or other mineralization, as well as the upper and lower ore physicochemical levels of their wedging, taking into account the structural and facies conditions of ore localization.

Key words: applied thermobarogeochemistry, molybdenum-tungsten and gold ore formations, convergence of physicochemical conditions and thermobarogeochemical indicators, upper and lower ore levels of mineralization wedge-out.

Дата першого надходження статті до видання: 10.01.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 20.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026

УДК 624.131.3

DOI <https://doi.org/10.30970/vgl.40.02>

ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ГЛИН КОСІВСЬКОЇ СВІТИ ТЕРИТОРІЇ ЛЬВОВА ТА ЇХНЯ ЕКОЛОГІЧНА РОЛЬ

Петро Волошин <https://orcid.org/0000-0003-4193-6705>

Ганна Бучацька <https://orcid.org/0009-0008-2627-3767>

Валентина Марусяк <https://orcid.org/0009-0002-3156-9606>

*Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005
e-mail: petro.voloshyn@lnu.edu.ua; hanna.buchatska@lnu.edu.ua;
valentyana.marusyak@lnu.edu.ua*

Глини косівської світи займають в межах міста великі за площею території. Вони у вигляді майже суцільного покриву шириною 3–5 км простягаються з південного-сходу від вул. Зеленої на північний захід до с. Рясна Руська. Загальна площа, яку займають глини перевищує 50 км². Здебільшого глини знаходяться на глибинах 6–10 м від земної поверхні і лише на окремих ділянках вони залягають безпосередньо під ґрунтово-рослинним шаром чи техногенними ґрунтами. Потужність глин коливається від 1–3 до 20–25 м. Глиниста товща підстелюється гіпсо-ангідритами тираської світи, на ділянках їхнього розмиву – пісками, пісковиками та вапняками нижнього баденію, рідко мергелями верхньої крейди.

Базову основу досліджуваної товщі складають грудкуваті іноді аргілітоподібні тверді, напівтверді рідко тугопластичні, карбонатні глини. Головними глинистими мінералами є монтморилоніт, з домішками каолініту та гідролюди. В алевритистих, алевритових та алевритисто-піщаних відмінах фіксується значна кількість глауконіту. Вкрай високий ступінь неоднорідності літологічного та мінералогічного складу зумовлює широкий діапазон змін інженерно-геологічних властивостей глин. Так природна вологість глин змінюється від 13 до 99 %, число пластичності від 0,03 до 1,09, щільність природного ґрунту від 1,40 до 2,08 г/см³, коефіцієнт пористості від 0,47 до 2,71, ступінь наповнення пор від 0,54 до 100%. Глини з низьким ступенем наповнення пор є набрякаючими. Абсолютне значення показника вільного набрякання (ϵ_{sw}) ґрунту при його зволоженні сягає 0,058, величина тиску набрякання пересічно становить 0,48 МПа. Максимальне лінійне зсідання досягає 11%, об'ємне – 18%. Модуль деформації глин змінюються від 3 до 34 МПа. Кути внутрішнього тертя коливаються в інтервалі 10-30°, питоме зчеплення – 18-96 кПа. Низькі показники міцності глин є одним з визначальних чинників розвитку осувів. Коефіцієнт фільтрації піскуватих відмін змінюється в діапазоні 0,005-0,1 м/добу, високопластичних глин – 1×10^{-4} - 1×10^{-5} м/добу, створюючи захисний бар'єр від техногенного забруднення водоносних горизонтів, що залягають під глинами, а також сповільнення процесів розвитку карсту.

Ключові слова: косівська світа, літологічний склад, мінералогічний склад, фізичні властивості ґрунтів, міцнісні властивості, деформаційні властивості, набрякання, зсідання, коефіцієнт фільтрації, осуви, карст.

Постановка проблеми. Забезпечення стійкості та функціональної придатності споруд і комфортних умов проживання людини у місті потребує ґрунтового вивчення складу, стану і фізико-механічних властивостей гірських порід, які відіграють роль підґрунтя

© Волошин П., Бучацька Г., Марусяк В., 2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

фундаментів будівель та середовища розміщення заглиблених споруд. Важливим елементом геологічного середовища Львова є глини косівської світи верхнього баденію. Глиниста товща світи має високий ступінь просторової літологічної та мінералогічної неоднорідності. Їхня поведінка під фундаментами характеризується низкою специфічних особливостей. Зокрема здатністю до набрякання та зсідання при зміні вологості, розвитком осувів, підтоплення, суттєвим впливом на швидкість перебігу карстових процесів.

Усе це ставить на порядок денний питання ґрунтового вивчення закономірностей поширення, умов залягання, складу, фізико-механічних та фільтраційних властивостей косівських глин та їхньої екологічної ролі.

Як показує практика будівництва та експлуатації споруд у місті Львові, недооцінка цих властивостей часто призводить до суттєвого ушкодження та, нерідко, повної втрати їхньої експлуатаційної придатності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Загальна характеристика відкладів косівської світи території Львова, її стратиграфічне положення, умови залягання наведено у публікації групи авторів [2], результати вивчення здатності глин до набрякання та зсідання подано у роботі [1], аналіз чинників розвитку осувних процесів та оцінка інженерного ризику в межах Передкарпаття відображено у монографії професора Г. І. Рудька зі співавторами [6]. Особливо слід відзначити ґрунтовні комплексні дослідження складу та інженерно-геологічних властивостей міоценових глин різних регіонів Польщі, відомим професором Варшавського університету Річардом Качинським та іншими авторами [8-10, 12, 13 та ін.]. В трактуванні польських дослідників це так звані краківецькі глини, назва яких походить від населеного пункту Краківець Львівської області, виділених вперше А. Ломницьким при складанні геологічного атласу Галичини [11]. Не зважаючи на значне поширення косівських глин в околицях міста Львова, суттєву шкоду, якої вони завдають інженерним спорудам, а також великий обсяг виконаних інженерно-геологічних досліджень для будівництва на території міста, інженерно-геологічні та екологічні властивості цього типу ґрунтів в українських літературних джерелах висвітлено недостатньо.

Детальне вивчення закономірностей поширення, умов залягання, складу та інженерно-геологічних властивостей глин косівської світи проведено нами при виконанні геолого-гідрогеологічних досліджень карстонебезпечної зони м. Львова, а також інженерно-геологічних розвідувань на ділянках розміщення окремих будівельних об'єктів, розташованих у її межах.

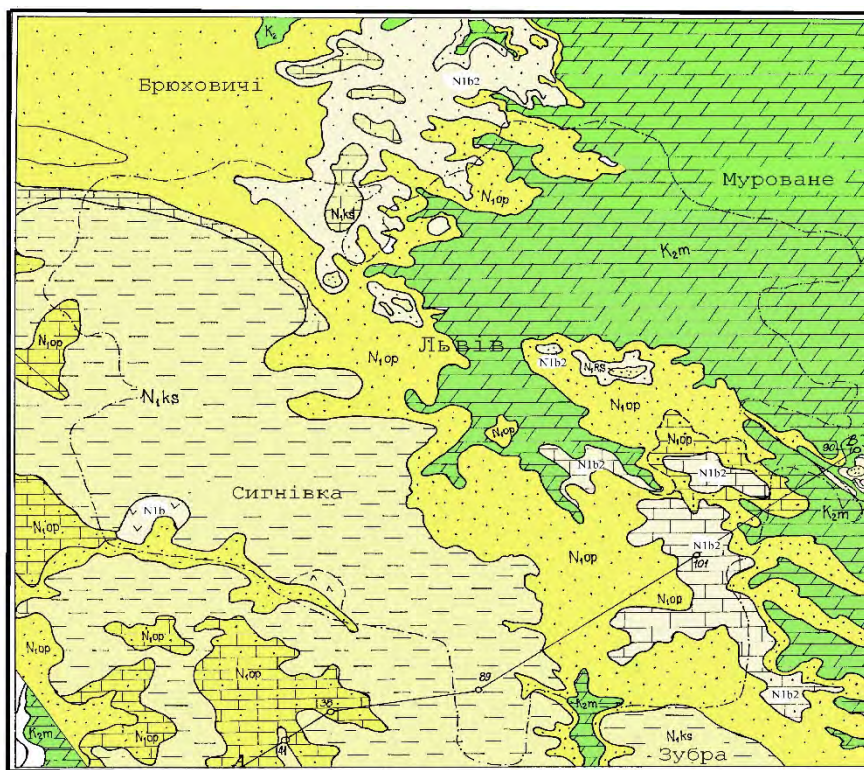
Головними завданнями досліджень були наступні:

- виявити закономірності поширення та умови залягання глин на тери торії міста;
- вивчити склад, водно-фізичні, міцнісні, деформативні та фільтраційні властивості глин;
- оцінити роль глин у розвитку осувів, підтоплення, карстово-суфозійних процесів, формуванні природної захищеності підземних вод.

Виклад основного матеріалу. Виконані дослідження показали, що глини косівської світи займають в межах м. Львова великі за площею території. Вони у вигляді майже суцільного покриву шириною 3-5 км простягаються з південного-сходу від вул. Зеленої на північний захід до с. Рясна Руська (рис. 1). Загальна площа, яку займають глини перевищує 50 км². Ці відклади відсутні лише у межах глибоко врізаних долин річок і потоків. Вони повністю розмиті у днищі долини р. Зубри, Сокільницького, Холодновідківського, Білогірського та Руднянського потоків. На 2/3 території, яку займають глини вони залягають на розмитій поверхні гіпсо-ангідритів тираської світи. Поверхня гіпсів дуже нерівна, у багатьох місцях простежуються давні долини розмиву і розчинення. На окремих ділянках гіпси зовсім відсутні. У місцях розмиву гіпсо-ангідритів, глини залягають на пісках, пісковиках і вапняках опільської світи нижнього баденію. На невеликих за площею

ділянках, головню, у південно-східній частині Львова (у межах Сихівського житлового району) безпосередньо на розмитій поверхні відкладів верхньої крейди.

У межах Львівського плато глиниста товща перекривається майже суцільним плащем потужністю 6-10 м еолово-делювіальних лесовидних суглинків, які вміщують один-два горизонти викопних ґрунтів. В долинах струмків і балок північного заходу міста глини покриті потужною товщею водно-льодовикових і льодовикових відкладів, складених різнозернистими пісками і торфами. На Розточчі над глинами залягає шарувата еоловоделювіальна товща потужністю 4-8 м.



Карта складена за матеріалами Герасимова Л. С., ДГП "Західукргеологія" 1970р.

Масштаб 1 : 50 000
500 м 0 м 1000 м 2000 м
В 1 сантиметрі 500 метрів

Рис. 1. Закономірності поширення глин косівської світи на території м. Львова:
K_{2m} – відклади маастрихтського ярусу верхньої крейди (мергелі); N_{1op} – відклади опільської світи нижнього баденію (піски, пісковики, вапняки); N_{1tr} – відклади тираської світи верхнього баденію (гіпси, вапняки); N_{1ks} – відклади косівської світи верхнього баденію (глини)

Потужність глин змінюється в широкому діапазоні від 1-3 до 20-25 м. Лише на одній ділянці у районі Сихівського житлового масиву вона перевищує 37,0 м. Товщина шару косівських відкладів визначається, головним чином, ступенем розчленування підстильної поверхні. У місцях давніх ерозійних врізів вона суттєво збільшується, а у межах локальних підняття навпаки скорочується. Наприклад, у межах центральної частини Львівського плато вона здебільшого не перевищує 5,0-10,0 м. Умови залягання косівських глин у районі вул. Наукової зображено на рис. 2.

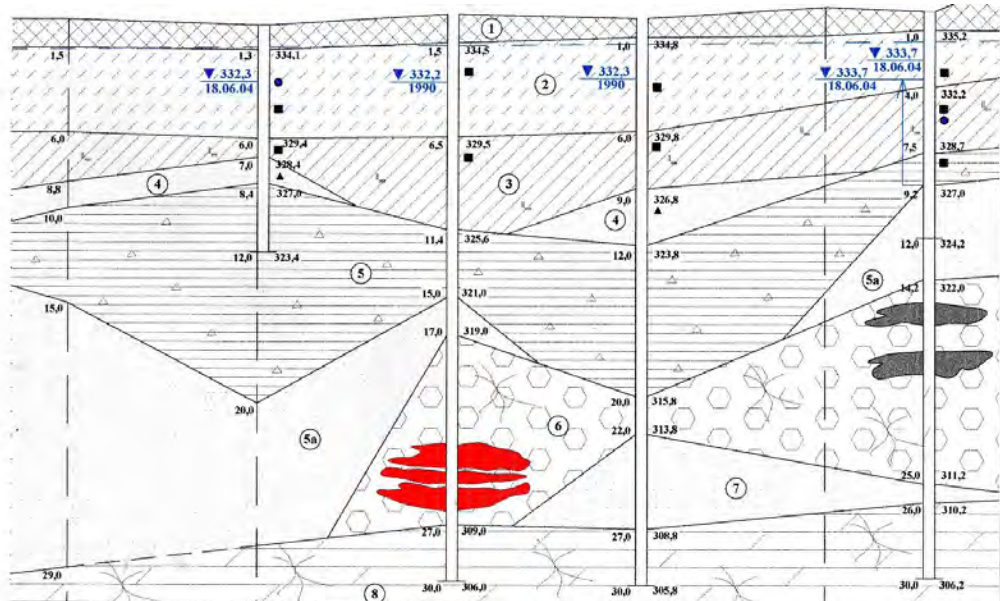


Рис. 2. Умови залягання глин у межах Львівського плато (вул. Наукова):

1 – техногенний ґрунт; 2 – сугісок лесовидний, пластичний ($vd P_{III}$); 3 – сугілок лесовидний тугопластичний ($vd P_{III}$); 4 – пісок пилуватий ($vd P_{III}$); 5 – глина напівтверда ($N_{I,ks}$); 5a – пісок пилуватий з прошарками глини ($N_{I,ks}$); 6 – гілець з карстовими порожнинами ($N_{I,tr}$) (червоне – наповнені водою, чорне – піщано-глинистим матеріалом); 7 – пісок дрібний ($N_{I,op}$); 8 – пісковик ($N_{I,op}$)

Слід зауважити, що у багатьох місцях спостерігається суттєва зміна потужності глин на віддалі декількох десятків метрів. Так на південному схилі Білогірського потоку (район с. Рясна-Руська) вона змінюється від 0 до 15 м і більше на віддалі лише 20-30 м.

Геологічний розріз косівської світи характеризується вкрай високим ступенем літологічної неоднорідності, що свідчить про дуже мінливі умови їхнього нагромадження. Базову основу досліджуваної товщі складають карбонатні глини, які формувалися у глибоководних умовах морського басейну. Глинистий розріз складений грудкуватими іноді аргілітоподібними твердими і напівтвердими, рідко тугопластичними, важкими глинами зеленувато, голубувато-жовтувато-сірого та темно-сірого кольору, рідше зустрічаються відміни шоколадного забарвлення [2]. Глини нерідко вміщують 2-15% необкатаних і погано обкатаних уламків літотамнієвого і хомогенного вапняку, лінзи і прошарки глауконіт-кварцового піску та пісковіку різного ступеню зцементованості. В тунелі каналізаційного колектора, що прокладався в районі вулиці Патона, на глибині 20,0 м від поверхні землі в товщі глин нами були виявлені гострокутні брили обкварцованого пісковіку, розміром до 1,0-1,5 м у поперечнику. У багатьох свердловинах зустрічаються численні прошарки дрібнозернистого пісковіку, потужністю від 0,5-1,0 до 2,0 м, іноді більше. На окремих ділянках у нижній частині розрізу фіксується жорстка гіпсу. У товщі глин виявлено гнізда, лінзи та прошарки товщиною до 1,0-1,8 м бентоніту, який утворюється в результаті звітрянання вулканічних туфів. Просторових закономірностей їхнього поширення не виявлено. Місцями у верхній та нижній частинах глинистої товщі зустрічаються досить однорідні, майже без включень уламкового матеріалу сірі, голубувато-сірі, темно-сірі та шоколадного забарвлення відміни глин. У глибокому котловані в районі вул. Роксоляни в глинах було виявлено сліди гляціодислокацій.

Залежно від кількості та розмірів уламкового матеріалу серед різновидів глин виділяють: 1) власне глини (з вмістом кластичного матеріалу не більше 5%); 2) алевритисті глини (вміст кластичного матеріалу коливається від 5 до 25%); 3) алевритові глини (кількість кластичного матеріалу варіює від 25 до 50%); 4) алевритово-піщані глини (містять кластичного матеріалу понад 50%). Найбільшим поширенням користуються власне глини, менше – алевритисті та алевритово-піщані відміни. Іноді в зразках спостерігається макро-структурна шаруватість, зумовлена перешаруванням названих відмін.

Мінералогічний склад глин тісно пов'язаний з літологією і великою мірою залежить від ступеню їхньої глинистості. Найбільш глинисті відміни характеризуються високим вмістом монтморилоніту. Із зростанням алевритової та піщаної складових його вміст суттєво зменшується. Натомість з'являється значна кількість кварцу, польового шпату, слюди, рудних мінералів тощо. У більшості глинистих відмін, особливо алевритово-піщаних присутня значна кількість глауконіту. Окремо слід звернути увагу на значне поширення у глинистих товщах так званих бентонітів, які є різновидом монтморилонітових глин [7]. При чітко підпорядкованому їхньому розвитку у вигляді малопотужних лінз і прошарків, рідше в тонкодисперсній формі, бентоніт має істотний вплив на валовий мінералогічний і хімічний склад, а також на інженерно-геологічні властивості порід. Макроскопічно бентоніт суттєво відрізняється від вмісних порід. Це сірі, жовті, бурі глини. Вони мають блискучу поверхню та раковистий злам, характеризуються високою сорбційною здатністю, дуже пухкі, мають низькі показники механічних властивостей. Бентоніти утворюються, головним чином, внаслідок розкладання вулканічних туфів і попелу [7].

Фізичні властивості глин. Природна вологість глин визначалась згідно вимог [5]. За даними лабораторних досліджень вона змінюється у широкому діапазоні. Абсолютні її значення коливаються від 13 до 99%. Найнижчі значення були зафіксовані у північній та північно-західній частині Львівського плато, найвищі – у його центральній частині. Високі значення вологості, які перевищують 50%, притаманні літологічно однорідним відмінам глин з прошарками бентоніту. Відносно невисокі їхні значення (25-35%) характерні, головню, літологічно неоднорідним (з домішками піску) пачкам глин.

Статистична обробка результатів лабораторних досліджень, зокрема визначення величини коефіцієнта варіації вказують на суттєву мінливість природної вологості навіть на невеликих за площею ділянках. Подекуди коефіцієнт варіації суттєво перевищує допустимі норми неоднорідності. Наприклад, на ділянці по вул. Петлюри, і Янева він досягає 31-39%, що у 1,5-2,0 рази перевищує допустимі значення і потребує додаткового розчленування глинистого масиву на дрібніші, однорідніші складові. Просторовий аналіз значень природної вологості глин як у плані, так і за глибиною, вказує на відсутність зв'язку між ними. Основними показниками, які контролюють вологість глин є їхній літологічний і мінералогічний склад: наявність домішок піску знижує її, а бентоніту – суттєво підвищує.

Для оцінки пластичності глин вивчали вологість на межі текучості і межі пластичності, згідно ДСТУ Б В.2.1-17:2009 [5]. Абсолютне значення вологості на межі текучості змінюється від 22 до 102%. Вологість на межі текучості, як і природна вологість, суттєво залежить від літологічного і мінералогічного складу. Мінімальні її значення притаманні піскуватим відмінам глин, максимальні – бентонітовим.

Середнє значення цього показника коливається від 0,26 до 0,60. Суттєво змінюється і показник варіації, він коливається від 2% в районі вул. Янева до 37% на вул. Городоцькій. Підвищені значення коефіцієнта варіації зумовлені головним чином високим ступенем літологічної неоднорідності, яка викликана переважно різним ступенем піскуватості глин.

Вологість на межі пластичності змінюється від 0,13 до 0,93. Мінімальні значення цього показника зафіксовано на тих же ділянках, де і мінімальні значення вологості на

межі текучості. Середні значення вологості змінюються від 0,15 до 0,33. Мінімальні – характерні для району вул. Пасічної, максимальні – вул. Янева.

Коефіцієнти варіації цього показника також доволі високі та коливаються від 7 до 31%. Вони також вказують на підвищену літологічну неоднорідність глин. Добре виражені просторові закономірності змін вологості на межі пластичності відсутні.

Число пластичності – це розрахунковий показник, який визначають як різницю між вологістю на межі текучості і вологістю на межі пластичності. Число пластичності досліджуваного району змінюється від 0,03 до 1,09. Тобто у глинистій товщі за числом пластичності виділяються: супіски з числом пластичності 1-7; суглинки – 7-17; глини – 17 і більше. Тобто на території Львова товща косівських глин складена усім спектром глинистих ґрунтів. Найменші значення числа пластичності притаманні піскуватим глинам та глинам з гніздами і прошарками піску, максимальні – бентонітовим глинам.

Середнє значення числа пластичності змінюється від 0,11 до 0,30. Мінімальні середні значення виявлені в районі вул. Пасічної, максимальні в районі вул. Пулюя-Наукової. Чітко виражених закономірностей зміни числа пластичності у просторі не встановлено.

Коефіцієнти варіації числа пластичності глин характеризуються високими значеннями, які змінюються від 18 до 75%. Це також підтверджує тезу про високий ступінь внутрішньої неоднорідності глинистої товщі, зумовленої, перш за все, змінами їхнього літологічного і мінералогічного складу.

Щільність глин природної вологості визначалась методом ріжучого кільця згідно вимог [5]. Результати дослідження численних проб засвідчили, що щільність глин природної вологості змінюється від 1,43 до 2,08 г/см³. Величина цього показника залежить не лише від щільності упаковки частинок ґрунту, але й від природної вологості, літологічного і мінералогічного складу. Мінімальні значення цього показника (1,43 г/см³) було виявлено в районі вул. Стрийської, для бентонітової відміни глин, максимальні (2,08 г/см³) – в районі розташування колишнього заводу телеграфної апаратури. Яскраво виражених закономірностей зміни цього показника з глибиною не виявлено (рис. 3).

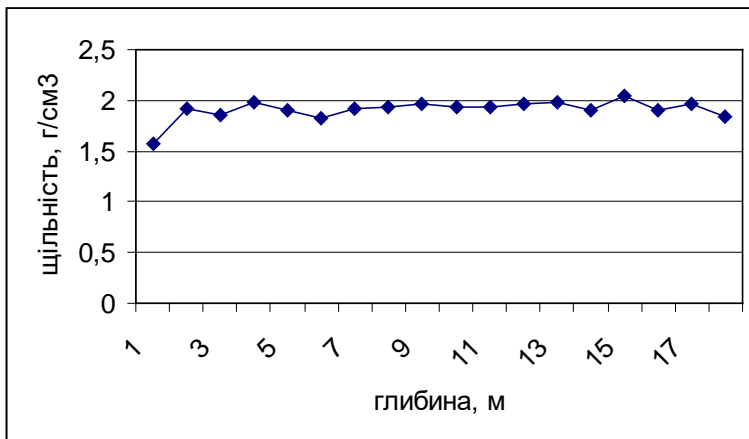


Рис. 3. Графік залежності щільності ґрунтів від глибини

Коефіцієнт варіації щільності змінюється від 2 до 10% і по окремих районах перевищує допустимі значення (5%) у два рази, що потребує збільшення кількості проб для її вивчення.

Зі щільністю ґрунту природної вологості тісно корелюють такі показники, як щільність сухого ґрунту, коефіцієнт пористості та ступінь вологості.

Значення щільності сухого ґрунту змінюються від 0,72 до 1,83 г/см³. Мінімальні величини притаманні чистим бентонітовим глинам і зафіксовані в районі вулиць Стрийська-Наукова, а максимальні – піскуватим і зустрічаються в районі локомотивного депо, вул. Пасічної та Сихівському районі.

Коефіцієнти пористості коливаються в широкому діапазоні від 0,47 до 2,71. Найвищі значення, як і найнижча щільність, зафіксовані у чистих бентонітах, найнижчі – в алевритових та алевритово-піщаних глинах. Коефіцієнт варіації цього показника змінюється від 11 до 58% при допустимому значенні 15%, тобто на окремих ділянках вони у 2-3 рази перевищують допустимі значення і потребують виділення ґрунтів з максимальними значеннями коефіцієнта пористості в окремі ПГЕ.

Ступінь насичення пор водою глин досліджуваного району змінюється від 0,54 до 1,00, що характеризує їх в одних випадках як маловологі (0,5-0,8) і насичені водою. Здебільшого глини залягають нижче рівня ґрунтових вод і відносяться до категорії насичених водою. Натомість у межах Левандівського виступу Львівського плато (вул. Суботівська, Олесницького, Сяйво тощо) та його південній частині (вул. Пасічна), а також південно-східних схилах Розточчя (вул. Клепарівська) вони залягають у зоні аерації і характеризуються здатністю до набрякання та зсідання.

Деформативні властивості. Серед багатьох показників деформативних властивостей ґрунтів нами вивчався одометричний модуль деформації та параметри набрякання та зсідання глин згідно [3, 4].

Результати одометричного випробування стисливості глин відібраних у різних районах міста засвідчили, що компресійний модуль деформації за абсолютною величиною змінюється у широких межах від 3 до 34 МПа при середньому значенні 12 МПа. Такий широкий діапазон змін, з нашої точки зору, пояснюється змінами літологічного, мінералогічного складу, консистенції та щільності глин. Зі збільшенням коефіцієнта пористості, підвищенням консистенції і більшою кількістю глинистих частинок, модуль деформації зменшується і навпаки, із зростанням їхньої піскуватості, зменшенням коефіцієнта пористості та консистенції значення модуля деформації суттєво зростають. Бентонітові глини характеризуються дуже низьким модулем деформації, який коливається від 3,0 до 10,0 МПа при середньому значенні 5,0 МПа. Такі низькі абсолютні показники зумовлені високою природною вологістю, яка досягає майже 100%, коефіцієнтами пористості, що нерідко перевищують 2,5. За такого значення модуля деформації бентонітові глини відносять до слабких сильно стисливих ґрунтів. Слід також зазначити високий ступінь мінливості глин за цією ознакою у межах окремих об'єктів. По більшості досліджених ділянок значення коефіцієнта варіації перевищує 30%, а по деяких із них досягає 58%. Добре виражених закономірностей змін модуля деформації у плані і за глибиною не виявлено.

Проведеними дослідженнями встановлено, що показники набрякання та зсідання притаманні глинам, які залягають у зоні аерації і характеризуються відносно низькою природною вологістю (менше 25-27%), незначним наповненням пор водою (менше 0,80), достатньо низькими, як для глин, (0,65-0,75) коефіцієнтами пористості, відносно високим (понад 10-15%) вмістом монтморилоніту. Проведені випробування обмеженої кількості проб показали, що абсолютне значення показника вільного набрякання (ϵ_{sw}) ґрунту при його зволоженні сягає 0,058, величина тиску набрякання пересічно становить 0,48 МПа, максимальне лінійне зсідання досягає 11%, об'ємне – 18%, вологість на межі зсідання становить 10% [1].

Міцнісні властивості глин. Міцнісні характеристики глин визначалися за схемою консолідованого дренажного зрізу згідно [4]. Результати виконаних досліджень засвідчили, що кут внутрішнього тертя змінюється в широкому діапазоні від 10 до 30°, питоме зчеплення від 18 до 96 кПа.

Мінімальне значення кута внутрішнього тертя (10°) мають бентонітові глини з найвищою для досліджуваного району природною вологістю (99%), пластичністю (1,02) та коефіцієнтом пористості (2,71). Натомість максимальні значення кута внутрішнього тертя відповідають глинам з достатньо низькою природною вологістю (менше 30%), пластичністю (0,50) та коефіцієнтом пористості (0,87). Мінімальні значення зчеплення зумовлені підвищеною піскуватістю глин, максимальні – достатньо високим значенням пластичності і вищою щільністю. Середнє значення питомого зчеплення становить 38 кПа, що вказує на загалом високе значення цього показника. Графік залежності середніх, для території м. Львова, показників згинаючих зусиль від вертикального навантаження наведено на рис. 4.

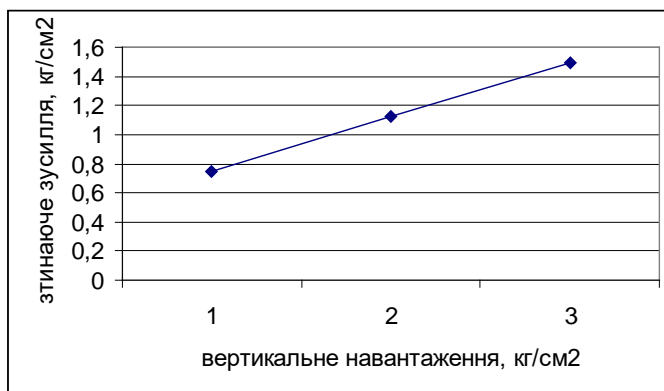


Рис. 4. Графік залежності середніх для території м. Львова значень згинаючих зусиль від вертикального навантаження

Яскраво виражених просторових закономірностей змін міцнісних властивостей глин на території міста не виявлено.

Фільтраційні властивості. Дослідження фільтраційних властивостей косівських глин польовими і лабораторними методами показало, що їхні коефіцієнти фільтрації суттєво залежать від літологічного складу. Піскуваті відміни та глини з прошарками піску характеризуються коефіцієнтами фільтрації, які змінюються від 0,005 до 0,1 м/добу. Однорідні, високопластичні глини мають коефіцієнт фільтрації 1×10^{-4} – 1×10^{-5} м/добу. За величиною коефіцієнта фільтрації їх відносять до категорії водотривких порід.

Враховуючи те, що піскуваті відміни і прошарки пісків по суті є закритими (ізолюваними одні від одних) масиви косівських глин відносять до категорії водотривів.

Низка специфічних властивостей глин косівської світи таких як висока дисперсність, низькі показники міцності (особливо бентонітових), низькі фільтраційні властивості, висока чутливість до зволоження, залягання вище базису ерозії, створюють сприятливі передумови для активного розвитку осувів. На ділянках близького від поверхні залягання глин при влаштуванні будівельних котлованів часто можна спостерігати осуви у їхніх бортах. Такий осув із захопленням верхньої частини товщі глин потужністю понад 1,0 м відбувся у будівельному котловані, розташованому в північній частині Львівського плато на вул. Роксоляни (рис. 5).

Однією з ділянок сильно вражених осувами є правий схил долини Вулецького потоку по вул. Сахарова. Тут глини залягають під лесоподібними, піскуватими супісками на глибині 4-8 м. Поверхня глин нахилена у бік днища долини, утворюючи прекрасну площину ковзання, змочену водою, сформованого над глинами водоносного горизонту

потужністю 2-3 м. При будівництві гуртожитку Львівського політехнічного інституту відбувся осув ґрунту, об'ємом понад 2 тис м³, який створив загрозу руйнування уже збудованої у нижній частині схилу споруди. Для стабілізації осувного тіла споруджено підтримуючу конструкцію у вигляді підпірної стінки (рис. 6).



Рис. 5. Осувне зміщення глин в будівельному котловані (вул. Роксоляни)

До категорії осувонебезпечних відносять і ділянку схилу між трамвайним депо по вул. Сахарова і вул. Горбачевського. Для запобігання розвитку осувних процесів біля підніжжя схилу вздовж трамвайної колії влаштована потужна підпірна стінка у вигляді буронабивних паль.

Потенційно зсувонебезпечними є також схили долини р. Зубри, Сокільницького та Холодновідківського потоків, де косівські глини також залягають вище базису ерозії.



Рис. 6. Підпірна стінка біля підніжжя осувного тіла по вул. Сахарова

Присутність у геологічному розрізі на невеликій глибині водотрив кого шару глин створює передумови для активного розвитку одного з несприятливих геологічних процесів – природного і техногенного підтоплення. Їхній розвиток супроводжується забрудненням підземних вод, активізацією сучасних морфодинамічних процесів (осувів, карсту, суфозії тощо), зволоженням і затопленням заглиблених приміщень, зниженням несучої здатності порід, трансформацією і вторинним засоленням ґрунтів, змінами видового складу, структури та продуктивності рослинного покриву, підвищенням сейсмічності території. Найбільші за площею ареали техногенного підтоплення приурочені до центральної, західної та північно-західної частини Львівського плато, які мають найсприятливіші природні умови для його розвитку та потужне антропогенне навантаження на геологічне середовище.

Присутність косівських глин, над товщею гіпсо-ангідритів суттєво зменшує вірогідність проникнення агресивних до гіпсів вод четвертинного водоносного горизонту і зменшує ризик розвитку карстово-суфозійних процесів.

Маючи низькі фільтраційні властивості і значну потужність, косівські глини є надійним екраном на шляху міграції техногенних забруднень у підземні води, які є джерелом для питного водопостачання.

Наведені вище інженерно-геологічні характеристики косівських глин території м. Львова у загальних непогано корелюють з аналогічними показниками, отриманими для території Польщі.

Висновки та перспективи подальшого дослідження

1. Відклади косівської світи верхнього баденію є одним з найпоширеніших генетичних типів ґрунтів, які слугують підґрунтям фундаментів будівель і споруд.

2. Глинистий товщі притаманний високий ступінь просторової неоднорідності літологічного і мінералогічного складу, та інженерно-геологічних властивостей.

3. Поведінка глин при будівельному освоєнні території їхнього поширення характеризується низкою специфічних особливостей. Зокрема здатністю глин до набрякання та зсідання при зміні вологості, розвитком осувів, підтоплення, суттєвим впливом на швидкість перебігу карстових процесів.

4. Завдяки низьким показникам фільтраційних властивостей, глини слугують надійним захисним екраном від техногенного забруднення продуктивних для питного водопостачання водоносних горизонтів.

Подальші дослідження косівських глин будуть спрямовані на вивчення впливу процесів звітрювання на міцнісні та деформативні властивості глин, особливо на їхню здатність до набрякання і зсідання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Волошин П., Кремінь Н. Деформаційні властивості міоценових глин околиць Львова (за показниками набрякання та зсідання). *Вісник Львівського університету. Серія геологічна*. 2022. Вип. 35. С. 15–24. Режим доступу: <http://doi.org/10.30970/vgl.36.02>
2. Волошин П.К., Марусяк В. П., Бучацька Г. М. Відклади косівської світи верхнього баденію – важлива складова геологічного середовища території Львова. Проблеми геології України. Збірник наукових праць. Відп. ред. С. І. Ціхонь, Львів, 2025. С. 111-114.
3. ДСТУ Б В.2.1-11:2009. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи лабораторного визначення властивостей набухання та усадки. 2009. 25 с.
4. ДСТУ Б В.2.1-4-96. Ґрунти. Методи лабораторного визначення характеристик міцності і деформованості. Київ, 1996. 101 с.
5. ДСТУ Б В.2.1-17:2009. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи лабораторного визначення фізичних властивостей. 2009. 36 с.

6. Гошовський С. В., Рудько Г. І., Преснер Б. М. Екологічна безпека техноприродних геосистем у зв'язку з катастрофічним розвитком геологічних процесів. Київ, 2002. 624 с.
7. Лазаренко Є. К. Курс мінералогії /вид. 2 доповнене. Київ, 1970. 600 с.
8. Kaczynski R. Warunki geologiczno-inzynierskie na obszarze Polski. Warszawa: PanstwowyInstytut Geologiczny-Panstwowy Instytut Badaczy. 2017. 396 s.
9. Kaczynski R. Inzyniersko-geologiczna ocena wpływu powierzchni osłabienia w ilach krakowieckich na statecznosc zboczy rejonu Tarnobrzega. *Biul.Geol. UW* . 1977. Vol. 22. S. 5-60.
10. Kaczyński R. Wytrzymałość i odkształcalność górnomiocenijskich ilów zapadliska przedkarpacciego. *Biuletyn Geologiczny*. 1981. Vol. 29, S.105–193.
11. Lomnicki A. M. (1898) Atlas Geologiczny Galicji z. X cz. II. Krakow.
12. Wilk K. Analiza scislivosti warstwowych ilow krakowieckich. *Przegland Geologiczny*. 2014. Vol. 62.nr. 5. S. 250–256.
13. Krol P., Matusiewicz W. Okreslanie cisnienia pnczenia ilow krakowieckich na podstawie wlasciwosci fizycznych gruntow. *Inzynieria i Budownictwo*. 2009. R 65. nr. 3.S. 163-165.

REFERENCES

1. Voloshyn, P., Kremin, N.(2022). Deformatsiini vlastyvoli miotsenovykh hlyn okolyts Lvova (za pokaznykamy nabriakannia ta zsidannia). *Visnyk Lvivskoho universytetu. Seriiia heolohichna*. Vyp. 35. S. 15–24. Rezhym dostupu: <http://doi.org/10.30970/vgl.36.02>
2. Voloshyn, P.K., Marusiak, V. P., Buchatska, H. M. (2025). Vidklady kosivskoi svity verkhnoho badeniia – vazhlyva skladova heolohichnoho seredovyscha terytorii Lvova. *Problemy heolohii Ukrainy*. Zbirnyk naukovykh prats. Vidp. red. S. I. Tsikhon, Lviv. S. 111–114.
3. DSTU B V.2.1-11:2009. Osnovy ta pidvalny budynkiv i sporud. Grunty. Metody laboratornoho vyznachennia vlastyvolei nabukhannia ta usadky. 25 s.
4. DSTU B V.2.1-4-96. Hrunty. Metody laboratornoho vyznachennia kharakterystyk mitsnosti i deformovanosti. Kyiv. 101 s.
5. DSTU B V.2.1-17:2009. Osnovy ta pidvalny budynkiv i sporud. Grunty. Metody laboratornoho vyznachennia fizychnykh vlastyvolei. 36 s.
6. Hoshovskyi, S. V., Rudko, H. I., Presner, B. M. (2002). Ekolohichna bezpeka tekhnopryrodnykh heosystem u zviazku z katastrofichnym rozvytkom heolohichnykh protsesiv. Kyiv. 624 s.
7. Lazarenko, Ye. K. (1970). Kurs mineralohii /vyd. 2 dopovnene. Kyiv, 1970. 600 s.
8. Kaczynski, R. (2017). Warunki geologiczno-inzynierskie na obszarze Polski. Warszawa: PanstwowyInstytut Geologiczny-Panstwowy Instytut Badaczy. 396 s.
9. Kaczynski, R. (1977). Inzyniersko-geologiczna ocena wpływu powierzchni osłabienia w ilach krakowieckich na statecznosc zboczy rejonu Tarnobrzega. *Biul.Geol. UW*, 1977. Vol. 22. S. 5–60.
10. Kaczyński R.(1981). Wytrzymałość i odkształcalność górnomiocenijskich ilów zapadliska przedkarpacciego. *Biuletyn Geologiczny*. Vol. 29. S.105–193.
11. Lomnicki, A. M. (1898). Atlas Geologiczny Galicji z. X cz. II. Krakow.
12. Wilk, K. (2014). Analiza scislivosti warstwowych ilow krakowieckich. *Przegland Geologiczny*. Vol. 62.nr. 5. S. 250–256.
13. Krol, P., Matusiewicz, W. (2009). Okreslanie cisnienia pnczenia ilow krakowieckich na podstawie wlasciwosci fizycznych gruntow. *Inzynieria i Budownictwo*. R 65. nr. 3. S. 163–165.

ENGINEERING-GEOLOGICAL PROPERTIES OF THE KOSIV FORMATION CLAYS IN THE LVIV AREA AND THEIR ENVIRONMENTAL ROLE

Petro Voloshyn, Hanna Buchatska, Valentyna Marusyak

*Ivan Franko National University of Lviv, 4, Hrushevskoho Str., Lviv, Ukraine, 79005
e-mail: petro.voloshyn@lnu.edu.ua; hanna.buchatska@lnu.edu.ua;
valentyna.marusyak@lnu.edu.ua*

The clays of the Kosiv Formation (suite) cover a large area within the city. They form an almost continuous cover 3–5 km wide, extending from the southeastern area near Zelena Street to the northwestern outskirts toward the Ryasne-Ruska village. The total area occupied by these clays exceeds 50 km². The clays generally occur at depths of 6–10 m below the ground surface and only locally lie directly beneath the soil-vegetation layer or technogenic deposits. The thickness of the clay deposits varies from 1–3 m to 20–25 m. The clayey strata overlie the gypsum–anhydrite deposits of the Tyras Formation; in areas of their erosion, they overlie on sands, sandstones, and limestones of the Lower Badenian, and more rarely – on marls of the Upper Cretaceous.

The main part of the studied stratum is composed of cloddy, occasionally argillite-like, hard to semi-hard, rarely medium plastic carbonate clays. The principal clay minerals are montmorillonite, accompanied by minor amounts of kaolinite and hydro-mica. Significant amounts of glauconite are present in the silty, silty–sandy, and silty–sandy–gravelly facies. The extremely high heterogeneity of the lithological and mineralogical composition determines a wide range of variations in the engineering-geological properties of the clays. Thus, the natural moisture content of the clays varies from 13 to 99%, the plasticity index – from 0.03 to 1.09, the density of the natural soil – from 1.40 to 2.08 g/cm³, the porosity coefficient – from 0.47 to 2.71, and the degree of pore saturation – from 0.54 to 100%. Clays with a low degree of pore saturation exhibit swelling behavior. The soil exhibits an absolute free swelling index (E_{sw}) of up to 0.058 upon wetting, with an average swelling pressure of 0.48 MPa. The maximum linear shrinkage of the clays is 11%, while the volumetric shrinkage reaches 18%. The clays exhibit a deformation modulus ranging from 3 to 34 MPa. The clays exhibit internal friction angles of 10–30° and cohesion values ranging from 18 to 96 KPa. The low strength of the clays is a major factor in landslide formation. The filtration coefficient of sandy varieties ranges from 0.005 to 0.01 m/day, whereas that of highly plastic clays ranges from 1×10^{-4} to 1×10^{-5} m/day, thereby forming a protective barrier against anthropogenic contamination of the underlying aquifers and slowing the development of karst processes.

Key words: Kosiv Formation (suite), lithological composition, mineralogical composition, physical properties, strength properties, deformation properties, soil swelling, Soil shrinkage, filtration coefficient, landslides, karst.

Дата першого надходження статті до видання: 20.01.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 27.03.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026

УДК 553.494 (477.42)

DOI <https://doi.org/10.30970/vgl.40.03>

РУДОНОСНІСТЬ ДІЛЯНКИ СЕРЕДНЯ МЕЖИРІЧНОГО РОДОВИЩА ТИТАНОВИХ РУД

Мирон Ковальчук <https://orcid.org/0000-0001-9265-9707>

Любов Фігура <https://orcid.org/0000-0001-8009-2854>

*Інститут геологічних наук НАН України, вул. Олеся Гончара, 55–б,
Київ, Україна, 01601
e-mail: kms1964@ukr.net; liuba_figura@ukr.net*

У геологічній будові Середньої ділянки Межирічного родовища титанових руд беруть участь кристалічні породи фундаменту, їхня кора вивітрювання, а також різновікові континентальні та морські відклади мезозойського і кайнозойського віку, до яких належать нижньокрейдові континентальні утворення іршанської світи, верхньокрейдові узбережно-морські відклади мошно-руднянської світи, гляціальні, флювіогляціальні та алювіальні утворення четвертинної системи. Корисною копалиною ділянки Середня є ільменіт, значні вмісти якого встановлено в корі вивітрювання кристалічних порід фундаменту, континентальних і узбережно-морських відкладах крейди. Максимальний вміст ільменіту в породах такий (кг/м³): у корі вивітрювання – 265,6; в утвореннях іршанської світи, зокрема у делювіальних гравійно-галькових піщанистих каолінах – 461,6, у алювіальних перевідкладених каолінах – 426,9, у алювіальних пісках різнозернистих – 356,7; у піщано-кременевому горизонті мошно-руднянської світи – 244,6; у гляціальних утвореннях – 20,2. Продуктивними є континентальні відклади іршанської світи, які утворилися за рахунок розмиву і перевідкладення кори вивітрювання в субстраті якої виробили ерозійні палеодолини. В літологічному плані продуктивні відклади представлені каолінами перевідкладеними, гравійно-гальковими, піщанистими; піском каолінистим, різнозернистим. На основі координат свердловин, їх опису та результатів опробування досліджено просторове поширення вмісту ільменіту в корі вивітрювання, відкладах іршанської та мошно-руднянської світ, у продуктивному пласті, а також у породах розкриву. З'ясовано, що товщина ільменітвмісних утворень і середній вміст у них ільменіту, в корі вивітрювання і континентальних утвореннях нижньої крейди, як правило, мають мозаїчний розподіл з виразними локальними ділянками високих значень. Досліджено напрям і силу кореляційних зв'язків між ключовими параметрами ільменітовмісних утворень: рельєфом підшови, покрівлі, товщиною відкладів, середнім вмістом ільменіту. Отримані результати дозволяють уточнити просторову мінливість рудоносності в межах різновікових і різногенетичних утворень ділянки Середня та акцентують увагу на необхідності детального дослідження рудоносності кори вивітрювання в її межах.

Ключові слова: Коростенський плутон, Межирічне родовище, ділянка Середня, ільменіт, рудоносність, кора вивітрювання, іршанська світа, мошно-руднянська світа, продуктивні відклади, породи розкриву.

Постановка проблеми. Проблематика забезпечення економіки України критичною та стратегічною мінеральною сировиною набуває особливої актуальності в сучасних умовах, адже вона визначає не лише можливість задоволення внутрішніх потреб держави, але й формує потенціал для експортної діяльності. Ключовим завданням у цьому контексті є оперативне введення в експлуатацію родовищ, що характеризуються просторовим

© Ковальчук М., Фігура Л., 2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

поєднанням різногенетичних та різновікових рудоносних комплексів і водночас мають достатній рівень геологічної вивченості [4]. Подібні полігенно-поліхронні просторово інтегровані рудоносні об'єкти, як правило, володіють значним ресурсним потенціалом, концентрованим на різних стратиграфічних рівнях, що зумовлює їхню інвестиційну привабливість [4]. До таких об'єктів належить Межирічне родовище, у межах якого виділено декілька ділянок надрокористування. Родовище є одним із найбільших джерел титанової сировини в Україні, забезпечуючи стратегічні потреби металургії та хімічної промисловості. Геологічна будова та просторове поширення рудоносності в межах Осинової, Юрської, Букінської, Ємилівської ділянок охарактеризовано нами у відповідних наукових працях [7–12]. Рудоносність ділянки Середня нами частково (породи розкриву, відклади іршанської світи) оприлюднена у матеріалах наукових конференцій [5, 6]. Для створення цілісної картини геологічної будови і рудоносності Межирічного родовища на основі інформації щодо геологічної будови та рудоносності окремих ділянок надрокористування, у цій публікації подано характеристику рудоносності залишкових запасів ділянки Середня. Такі дослідження є актуальними, оскільки надрокористувач, враховуючи налагодженість інфраструктури, у разі необхідності може повернутися до відпрацювання залишкових запасів цієї ділянки.

Аналіз досліджень. Історія досліджень Межирічного родовища ільменіту охоплює понад століття: від перших геологічних картографувань кінця XIX ст. до сучасних геолого-економічних оцінок. Оскільки історичний аналіз дослідження Межирічного родовища і окремих його ділянок детально розглянуто у наших попередніх публікаціях, які висвітлювали геологічну будову і рудоносність Букінської, Осинової, Юрської, Ємилівської ділянок [5–12], у цій статті ми виокремили основні етапи досліджень і подали їх в узагальненому вигляді.

- Початкові етапи (XIX ст.–1930 рр.) характеризуються відкриттям підвищеного вмісту ільменіту у корі вивітрювання Волинського масиву та алювіальних відкладах р. Ірша.
- Середина XX ст. (1939–1958 рр.) – створення перших геологічних карт, відкриття похованих розсипів ільменіту, виявлення нових родовищ титану у кристалічних породах та осадових відкладах.
- Друга половина XX ст. (1970–1980 рр.) – проведення геологорозвідувальних робіт, дорозвідки та технологічного картування, уточнення геологічної будови та характеристик ільменітоносних відкладів.
- Кінець XX ст. – початок XXI ст. (1995–2018 рр.) – початок експлуатації родовища кар'єрною розробкою окремих ділянок надрокористування, отримання спеціальних дозволів, експлуатаційне буріння, повторні геолого-економічні оцінки запасів. Експлуатація Межирічного родовища почалася у 2001 році з розробки ділянки Ємилівська з 2003 р. кар'єром № 7 почали розробку ділянки Середня, а кар'єром № 8 – ділянки Юрська; з 2010 р. – ділянки Ісаківська, а з 2016 р. – ділянки Південна [2]. Запаси Букінської та Осинової ділянок – знаходяться у резерві [7, 8].

У 2017 році проведена повторна геолого-економічна оцінка залишку усіх виявлених запасів корисних копалин Межирічного родовища, зокрема й на Середній ділянці. У результаті проведених робіт були охарактеризовані геологічна будова родовища, морфологія рудних тіл; речовинний склад і технологічні властивості руд за геолого-промисловими типами; технології збагачення руд та перспективи промислової переробки концентратів; гідрогеологічні, інженерно-геологічні та гірничотехнічні умови розробки родовища; оцінено вплив розробки родовища на стан навколишнього природного середовища; висвітлена методика геологорозвідувальних робіт. За результатами повторної геолого-економічної оцінки залишку усіх виявлених запасів корисних копалин Межирічного родовища у межах ділянки Середня підраховано балансові (категорія В) і позабалансові (категорії В, С₁ В+С₂) запаси.

Сучасний етап (2022–2026 рр.) – наукові дослідження окремих ділянок родовища; зокрема: дослідження просторового поширення рудоносності на різних стратиграфічних рівнях з використанням ГІС-технологій, загальна характеристика особливостей рудоносності окремих ділянок і родовища загалом; використання математико-статистичних методів і кореляційного аналізу, дослідження хімічного складу ільменіту і просторового поширення ільменіту з різним вмістом оксидів у продуктивних відкладах.

З 2022 року Ковальчук М.С. і Фігура Л.А. детально досліджують рудоносність окремих ділянок надрокористування Межирічного родовища з використанням картографічного структурно-літологічного моделювання рудоносності кори вивітрювання, нижньокрейдових континентальних, верхньокрейдових узбережно-морських, палеоген–четвертинних (породи розкриву) різногенетичних утворень та кореляційного аналізу між різними структурними і речовинними параметрами [5–12].

У 2025 р. Ганжа О.А. зі співавторами коротко охарактеризували особливості геологічної будови і рудоносності кори вивітрювання і продуктивного пласта в межах окремих ділянок (Осинова, Юрська, Середня, Ємилівська, Ісаківська, Південна, Рихтинська, Букінська) Межирічного родовища, представили зведені дані щодо гіпсометрії підосви, покрівлі, товщини і середньої концентрації ільменіту для шести ділянок (Осинова, Юрська, Середня, Ємилівська, Ісаківська, Букінська), побудували карту родовища на яких відображено рельєф підосви, покрівлі, підосви продуктивного пласта і латерального поширення середнього вмісту ільменіту для п'яти ділянок (Осинова, Юрська, Середня, Ємилівська, Букінська) [1, 2], які були раніше досліджені нами.

Таким чином, історія досліджень Межирічного родовища ільменіту охоплює понад століття й включає етапи від перших геологічних картографувань до сучасних геолого-економічних оцінок та технологічних досліджень, що забезпечують комплексне уявлення про геологічну будову, рудоносність та перспективи промислової розробки родовища.

Межирічне родовище має стратегічне промислове значення для титанової галузі України та водночас є цінним науковим полігоном для дослідження процесів екзогенного рудоутворення в різновікових і різногенетичних утвореннях.

Представлена публікація щодо рудоносності ділянки Середня продовжує авторський цикл робіт з дослідження структурних і речовинних параметрів різновікових і різногенетичних рудовмісних літотипів порід Межирічного родовища.

Мета. Представити результати дослідження ільменітоносності просторово-суміщеної полігенно-поліхронної рудоносності ділянки Середня Межирічного родовища, яка складена рудоносною корою вивітрювання кристалічних порід фундаменту, континентальними відкладами нижньої крейди, узбережно-морськими – верхньої крейди та породами розкриву (гляціальними, флювіогляціальними, алювіальними) четвертинної системи.

Об'єкти та методи досліджень. Об'єктом дослідження є ділянка Середня Межирічного родовища та різногенетичні і різновікові ільменітвмісні відклади, що беруть участь в її геологічній будові. Предметом дослідження є латеральний і вертикальний розподіл рудоносності в корі вивітрювання, континентальних і узбережно-морських відкладах крейди, породах розкриву та кореляційний аналіз між рельєфом підосви, покрівлі, товщиною, середнім вмістом ільменіту. Методико-методологічною основою досліджень є напрацювання авторів статті зі структурно-літологічного моделювання розсіпів важких мінералів, зокрема і різних ділянок Межирічного родовища, які апробовані та оприлюднені на наукових конференціях різного рівня, у наукових статтях і колективних монографіях [5–12]. Фактичним матеріалом дослідження ділянки Середня були виробничі звіти (Рубан Н.И. Генеральный подсчет запасов титана по Междуречному и Лемненскому россыпным месторождениям ильменита по состоянию на 01.01.1959 г. Отчет о результатах геолого-поисковых и разведочных работ, выполненных Житомирской экспедицией в бассейнах р. Ирши и верхнего течения р. Уж в Житомирской области. Киев, 1959; Нестеренко Т. Повторна геолого-економічна оцінка

запасів Межирічного родовища титанових руд (ділянки Середня, Ємилівська, Юрська, Осинова та Букинська). Кривий Ріг, 2018) та наукові публікації [1, 2, 5–12].

Картографічне моделювання структури (гіпсометрії покривлі, підшови рудоносних відкладів та їх товщини) а також якісних показників (розподіл середнього вмісту ільменіту за латераллю і вмісту мінералу у вертикальному перетині свердловин) рудоносних порід здійснено на основі атрибутивної бази даних, яка містить дані координат 303 свердловин, їх опис, результати опробування. Картографічні побудови здійснено у програмних забезпеченнях Golden Software Surfer, Golden Software Strater. Для побудови карт латерального розподілу ільменітоносності відкладів використано його середній вміст у свердловині. Напрямі і силу кореляційних зв'язків між структурними і якісними параметрами рудовмісних відкладів досліджено в Microsoft Excel.

Виклад основного матеріалу. Ділянка Середня розташована в південно-західній частині Межирічного родовища титанових руд, за 0,3 км від північної околиці села Ємилівка (рис. 1).

У межах ділянки Середня Межирічного родовища значні вмісти ільменіту діагностовано у корі вивітрювання магматичних порід основного складу, в нижньокрейдових континентальних відкладах іршанської світи, яка з розмивом залягає на корі вивітрювання, а також в узбережно-морських відкладах мошно-руднянської світи верхньої крейди, що з розмивом залягає на корі вивітрювання і породах іршанської світи та утворилася за рахунок розмиву і перевідкладення підстилаючих утворень [6].

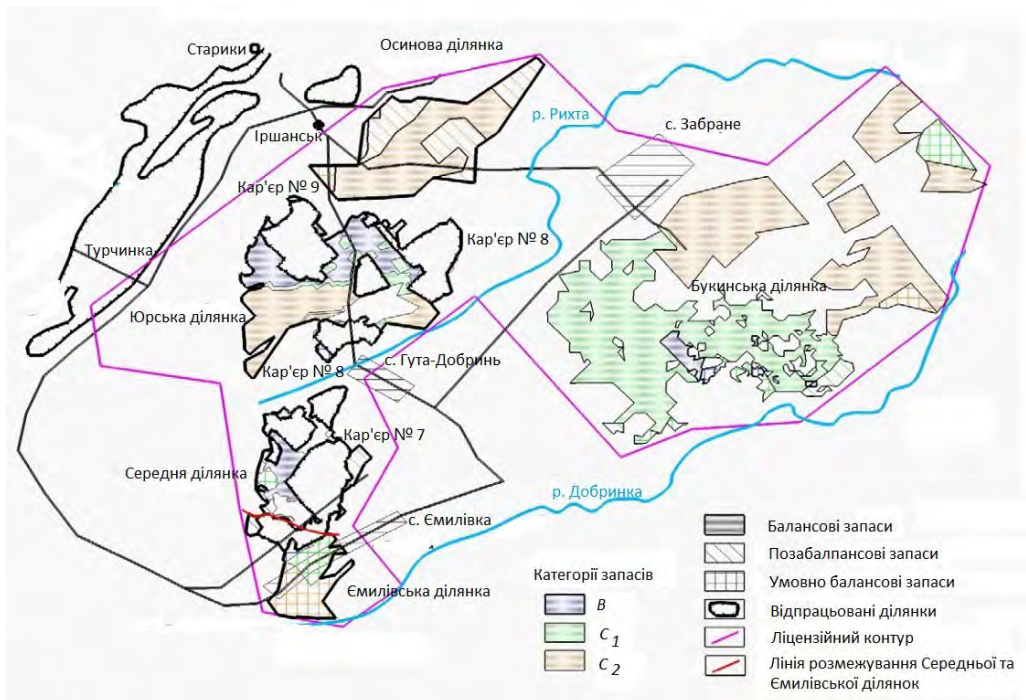


Рис. 1. Схема розміщення ділянки Середня серед п'яти ділянок Межирічного родовища (за Т. Нестеренко, 2018)

За даними Н. Нестеренко (2018) максимальний вміст ільменіту діагностовано: у корі вивітрювання (265,6 кг/м³); в утвореннях іршанської світи, зокрема у делювіальних

гравійно-галькових піщанистих каолінах ($461,6 \text{ кг/м}^3$), у алювіальних перевідкладених каолінах ($426,9 \text{ кг/м}^3$), у алювіальних пісках різнозернистих ($356,7 \text{ кг/м}^3$); у піщано-кременевому горизонті мошно-руднянської світи ($244,6 \text{ кг/м}^3$).

У межах ділянки лише одиничні свердловини були добурені до кристалічних порід фундаменту. У свердловинах, що розкрили кристалічні породи фундаменту абсолютні відмітки підосви становлять $162,65\text{--}174,90 \text{ м}$; покрівлі – $171,3\text{--}174,4 \text{ м}$; товщина розкриття порід фундаменту – $1,5\text{--}8,65 \text{ м}$.

Повсюдно, плащеподібно на породах кристалічного фундаменту залягає кора вивітрювання [5]. Кора вивітрювання характеризується вертикальною зональністю, яка налічує три зони (знизу–догори): перша – дезінтеграції і вилугування, друга – початкового гідролізу (гідрослюдисто-каолінітова, гідрослюдисто-монтморилоніт-каолінітова), третя – кінцевого гідролізу та окиснення продуктів вивітрювання (каолінітова). Речовинний склад і рудоносність елювію визначаються петрографічним складом і рудоносністю кристалічних порід фундаменту за рахунок гіпергенного розкладу яких вона утворилася [3–5]. Глинисті мінерали представлені каолінітом, монтморилонітом, гідрослюдами.

Більшість свердловин у межах ділянки Середня не розкрили кору вивітрювання на повну її товщину. Лише декілька свердловин частково розкрили зону дезінтеграції і вилугування. Абсолютні відмітки підосви зони дезінтеграції і вилугування $170,48\text{--}170,8 \text{ м}$; покрівлі – $171,49\text{--}171,8 \text{ м}$; товщина – $1,0 \text{ м}$; середній вміст ільменіту – $19,5\text{--}25,1 \text{ кг/м}^3$.

Майже усі свердловини розкрили зону кінцевого гідролізу та окиснення продуктів вивітрювання кори вивітрювання. Рудне тіло складене каолінітом, монтморилонітом, гідрослюдами. Абсолютні відмітки підосви елювіальних каолінів – $151,7\text{--}181,7 \text{ м}$ (перепад висот $30,0 \text{ м}$); покрівлі – $157,00\text{--}187,7 \text{ м}$ (перепад висот $30,7 \text{ м}$); товщина $0,25\text{--}31,2 \text{ м}$ (середнє $2,28 \text{ м}$); середній вміст ільменіту – $1,26\text{--}158,0 \text{ кг/м}^3$ (середнє $21,30 \text{ кг/м}^3$). Латеральний розподіл рельєфу підосви, покрівлі, товщини та середнього вмісту ільменіту в каолінах елювіальних представлено на рисунку 2. Рельєф підосви каолінів елювіальних нерівномірний з локальними западинами і підвищеннями (див. рис. 2, а). Рельєф поверхні каолінів елювіальних, який є платиком для континентальних утворень нижньої крейди здебільшого повторює рельєф підосви (див. рис. 2, а, б). Підвищення рельєфу покрівлі наявні у вигляді смуги південно-західного північно-східного простягання у центральній частині та локальних підвищень у центральній, південній, південно-західній, північно-західній частинах (див. рис. 2, б). Латеральний розподіл товщини каолінів елювіальних рівномірний майже на всій ділянці; локальні ареали найбільшої товщини притаманні південно-східній частині ділянки (див. рис. 2, в). Латеральний розподіл середнього вмісту ільменіту має мозаїчний характер – різкі локальні аномалії серед фонового поля (див. рис. 2, г). Сусідні свердловини часто містять контрастні значення середнього вмісту ільменіту (наприклад, 10 кг/м^3 поруч із 100 кг/м^3), що свідчить про значну неоднорідність. Найбільші середні вмісти ільменіту наявні в межах північної частини ділянки.

Такий характер поширення середнього вмісту ільменіту відповідає елювіальним умовам формування, де ільменіт концентрується нерівномірно внаслідок локальних особливостей материнської породи та процесів вивітрювання.

Кореляційний зв'язок між рельєфом підосви і покрівлі каолінів елювіальних – прямий, сильний ($+0,84$); між рельєфом підосви і товщиною – обернений помірний ($-0,40$); між середнім вмістом ільменіту та товщиною – кореляційний зв'язок відсутній.

Відклади іршанської світи (апт-нижній альб) вивітрюють давню поховану долину в корі вивітрювання і представлені континентальними утвореннями алювіального, алювіально-делювіального генезису.

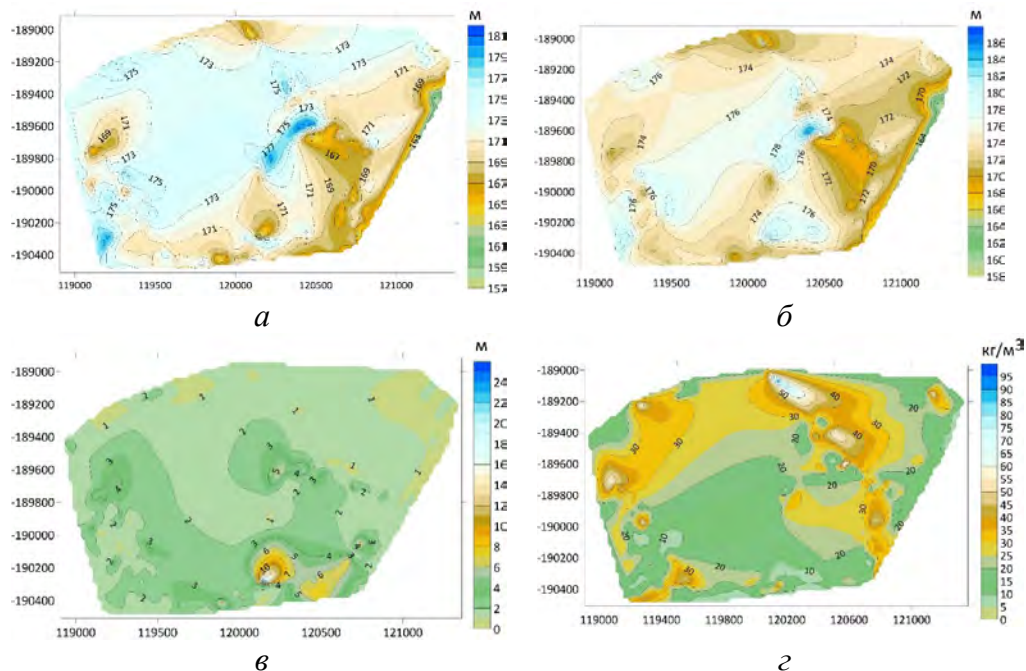


Рис. 2. Ізогінси підшови (а), поверхні (б), ізопахіти товщини (в) елювіальних каолінів та латеральний розподіл в них середнього вмісту (кг/м³) ільменіту (з)

У літологічному плані це гравійно-галькові піщаністі каоліни, піски різнозернисті каоліністі, перевідкладені каоліни. Делювіальні гравійно-галькові піщаністі каоліни приурочені до схилів палеодолини і залягають у верхній частині розрізу. Піски різнозернисті з невитриманим гранулометричним складом приурочені до підшови континентальних відкладів, іноді перешаровуються з перевідкладеними каолінами у середній частині чи завершують розріз континентальних відкладів. У базальній частині континентальних утворень залягають здебільшого великозернисті піски, а піски дрібно-середньозернисті – у верхній. Ступінь сортування зерен поганий або відсутній; шаруватість – неясновиражена або відсутня, іноді – коса.

Абсолютні відмітки підшови піщаних відкладів – 157,0–188,2 м (перепад висот 31,2 м); покрівлі – 176,3–192,5 м (перепад висот 16,2 м); товщина 0,5–29,5 м (середнє 12,13 м); середній вміст ільменіту – 0,10–161,7 кг/м³ (середнє 23,98 кг/м³). Латеральний розподіл рельєфу підшови, покрівлі, товщини та середнього вмісту ільменіту в піщаних відкладах представлено на рисунку 3.

Рельєф підшови піщаних відкладів має мозаїчний, плямистий характер з підвищенням і локальними максимальними відмітками в центральній частині ділянки; рельєф поверхні – плавний з тенденцією до пониження в північно-східному напрямку (див. рис. 3, а, б). Латеральний розподіл товщини також має мозаїчний, плямистий характер і в значній мірі є віддзеркаленням рельєфу підшови відкладів, зокрема найбільш підвищеним ділянкам рельєфу підшови відповідають найменші значення товщини піску (див. рис. 3, а, в). Латеральний розподіл середнього вмісту ільменіту в піщаних відкладах має неоднорідний, плямистий характер поширення з різкими просторовими контрастами (див. рис. 3, з).

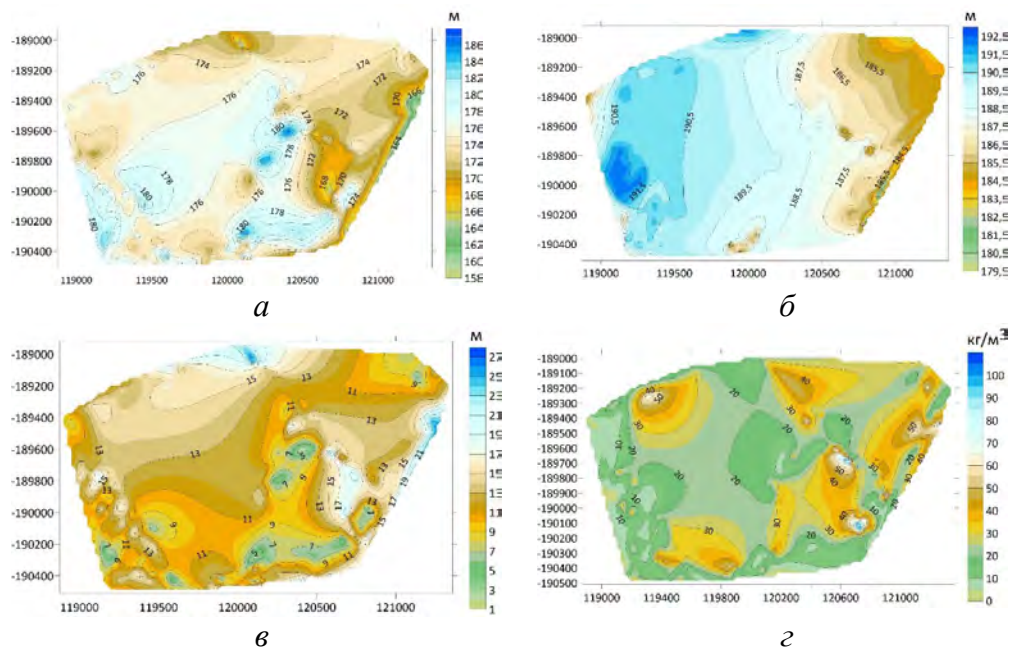


Рис. 3. Ізогіпси підшови (а), поверхні (б), ізопахіти товщини (в) піску іршанської світи каолінів та латеральний розподіл в ньому середнього вмісту (кг/м³) ільменіту (z)

Кореляційний зв'язок між рельєфом підшови і покрівлі піщаних відкладів – прямий, помірний (+0,32); між рельєфом підшови і товщиною – обернений сильний (-0,82); між рельєфом підшови і середнім вмістом ільменіту – обернений помірний (-0,30); між середнім вмістом ільменіту та товщиною піску – прямий, слабкий (+0,29).

Перевідкладені каоліни залягають безпосередньо на каолінах елювіальних, у середній і верхній частинах континентальних утворень нижньої крейди.

Абсолютні відмітки підшови перевідкладених каолінів – 164,6–181,78 м (перепад висот 17,18 м); покрівлі – 165,6–184,7 м (перепад висот 19,1 м); товщина 0,5–11,0 м (середнє 2,68 м); середній вміст ільменіту – 3,95–256,1 кг/м³ (середнє 44,83 кг/м³). Латеральний розподіл рельєфу підшови, покрівлі, товщини та середнього вмісту ільменіту в перевідкладених каолінах представлено на рисунку 4.

Рельєф підшови каолінів перевідкладених хвилястий з чергуванням підняттяв і ерозійних понижень (див. рис. 4, а). Рельєф поверхні перевідкладених каолінів є майже відзеркаленням рельєфу їхньої підшови (див. рис. 4, а, б). Пониження рельєфу відбувається від центру у східному, південному і північно-західному напрямках. Ареали збільшення товщини перевідкладених каолінів частково просторово збігаються з ареалами підвищення їхньої підшови і покрівлі (див. рис. 4, а, б, в). Ареали підвищеного середнього вмісту ільменіту (більше 40 кг/м³) наявні в південно-східній частині та утворюють смугу північно-західного – південно-східного простягання (див. рис. 4, з).

Кореляційний зв'язок між рельєфом підшови і покрівлі перевідкладених каолінів – прямий, сильний (+0,89); між рельєфом підшови і товщиною – відсутній; між рельєфом підшови і середнім вмістом ільменіту – обернений слабкий (-0,23); між середнім вмістом ільменіту та товщиною піску – відсутній.

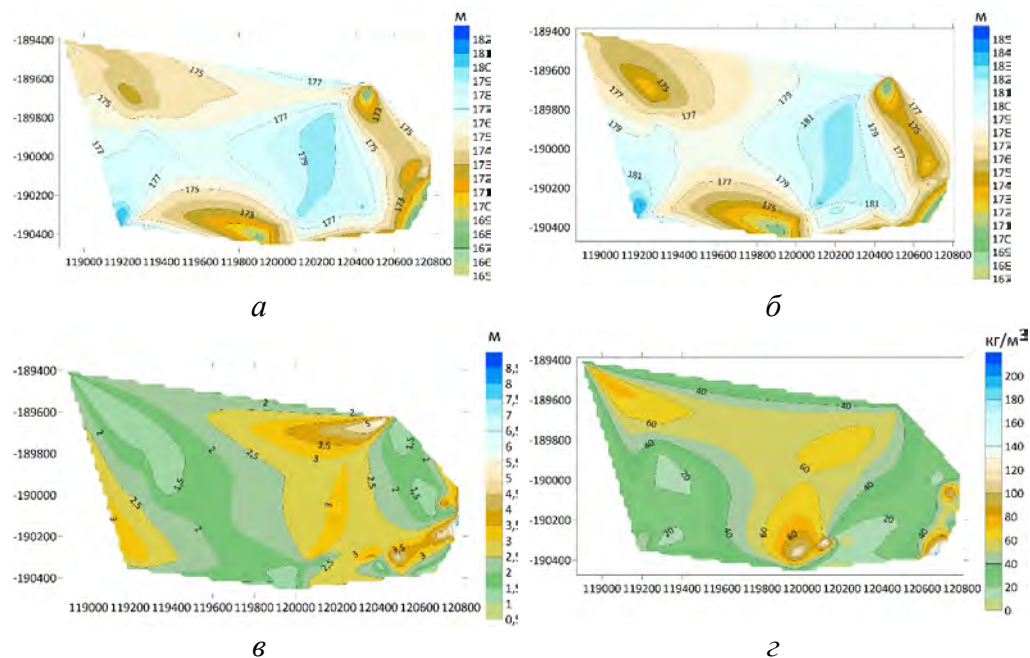


Рис. 4. Ізогіпси підшови (а), поверхні (б), ізопакіти товщини (в) перевідкладених каолінів іршанської світи та латеральний розподіл в них середнього вмісту (кг/м³) ільменіту (г)

Континентальні утворення іршанської світи є продуктивними відкладами ділянки Середня. Абсолютні відмітки підшови континентальних відкладів іршанської світи – 157,0–182,9 м (перепад висот 30,0 м); покрівлі – 176,3–192,5 м (перепад висот 30,7 м); товщина 1,0–29,5 м (середнє 12,77 м); середній вміст ільменіту – 0,1–262,62 кг/м³ (середнє 30,71 кг/м³).

Результати картографічного дослідження рельєфу підшови, поверхні, товщини продуктивних відкладів та латерального поширення в ньому середнього вмісту ільменіту представлено на рисунку 5.

Рельєф підшови і поверхні продуктивних відкладів, значною мірою подібний (див. рис. 5, а, б). Підвищення підшови і покрівлі відбувається у західному напрямку. У рельєфі підшови і покрівлі наявні локальні ділянки їхнього підвищення і пониження. На значній території поширення континентальних відкладів іршанської світи їхня товщина становить 11–17 м з локальними ареалами її зменшення або збільшення (див. рис. 5, в). У межах північної і східної частин товщина відкладів збільшується до 20 м і більше, що просторово збігається з ареалами пониження рельєфу підшови. Латеральне поширення середнього вмісту ільменіту має мозаїчний розподіл (див. рис. 5, г). Найбільш збагачений ареал знаходяться в південно-західній частині.

Кореляційний зв'язок між рельєфом підшови і покрівлі континентальних відкладів – прямий, помірний (+0,39); між рельєфом підшови і товщиною – обернений, сильний (–0,70); між рельєфом підшови і середнім вмістом ільменіту – обернений дуже слабкий (–0,19); між середнім вмістом ільменіту та товщиною піску – прямий, дуже слабкий (+0,13).

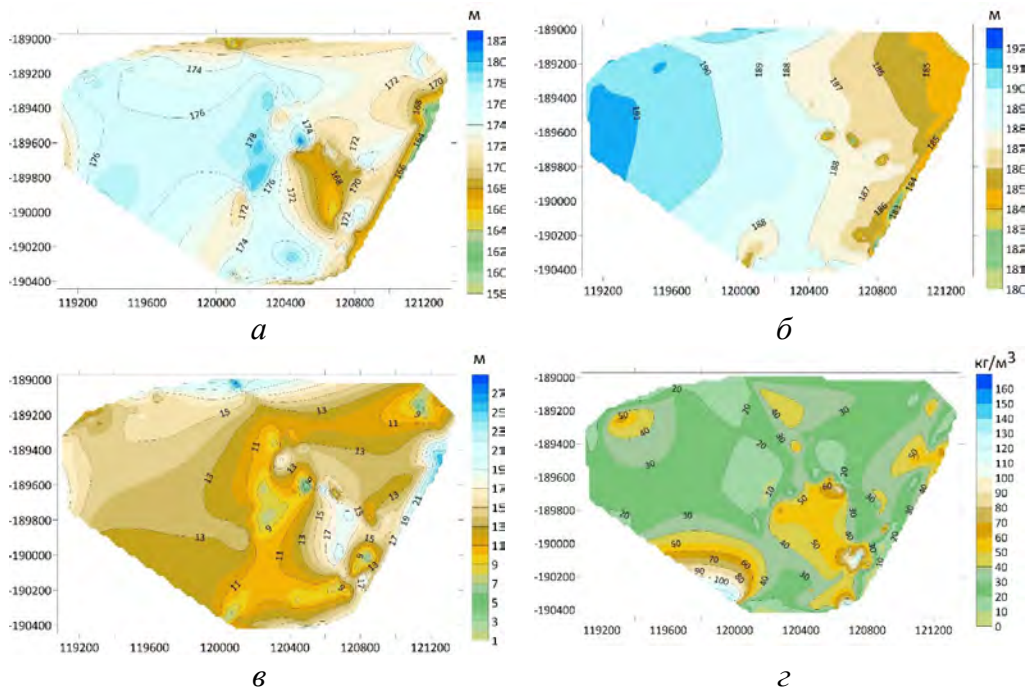


Рис. 5. Ізогіпси підшови (а), поверхні (б), ізопахіти товщини (в) континентальних відкладів іршанської світи та латеральний розподіл в них середнього вмісту (кг/м³) ільменіту (з)

Ільменіт – основний рудний мінерал, представлений кутастими і напівобкатаними зернами, іноді – обкатаними. Забарвлення ільменіту чорне з темно-коричневим відтінком. Розмір зерен 0,1–1,0 мм, переважно 0,1–0,5 мм (середнє 0,35 мм). У продуктивних відкладах ільменіт представлений незміненими і частково зміненими в екзогенних умовах зернами (вміст TiO₂ в ільменіті 52,0–62,4 %) [5]. Зміненість ільменіту проявлена у зміні морфології (обкатаності) зерен, частковій зміні забарвлення (більш світліше) та збільшенні вмісту оксиду титану.

Узбережно–морські відклади мошно-руднянської світи турону верхньої крейди представлені піщано-кременевим горизонтом. У межах ділянки Середня вони мають повсюдне поширення і з розмивом залягають на континентальних відкладах іршанської світи, іноді на корі вивітрювання кристалічних порід фундаменту. Складені відклади кременевими стяжіннями різного розміру (до 0,5 м) і форми (округлі, видовжені) з численними відростками. Кремені покриті білою плівкою, на свіжому сколі мають різних відтінків сіре забарвлення. Поверхня кременів пагорбоквата, ніздрувата. Проміжок між стяжіннями кременю заповнений різнозернистим піском, у нижній частині горизонту – каоліністим. Від підшови до поверхні горизонту кількість стяжінь кременю у піщаному матриці зменшується. Абсолютні відмітки підшови піщано-кременевого горизонту мошно-руднянської світи – 163,0–183,1 м (перепад висот 20,1 м); покрівлі – 164,0–185,8 м (перепад висот 21,8 м); товщина 0,5–11,5 м (середнє 3,89 м); середній вміст ільменіту – 0,3–122,9 кг/м³ (середнє 23,87 кг/м³).

Результати картографічного дослідження рельєфу підшови, поверхні, товщини піщано-кременевого горизонту та латерального поширення в ньому середнього вмісту ільменіту представлено на рисунку 6.

Рельєф підшови і покрівлі мошно-руднянської світи подібні. Підвищені ділянки підшови і поверхні піщано-кременевого горизонту знаходяться в центральній частині ділянки, а понижені – в південно-західній, південній, північній, північно-східних частинах (див. рис. 6, *а, б*). Розподіл товщини відкладів нерівномірний (див. рис. 6, *в*). Підвищені товщини відкладів притаманні південній частині ділянки, серед якої наявні ареали (південно-західна, південна, центрально-східна частини) найбільшої товщини (7,0 м і більше). Латеральний розподіл середнього вмісту ільменіту більш-менш рівномірний, з локальними ареалами його збільшення в південно-західній, південній, центральній і центрально-східній частинах (див. рис. 6, *г*).

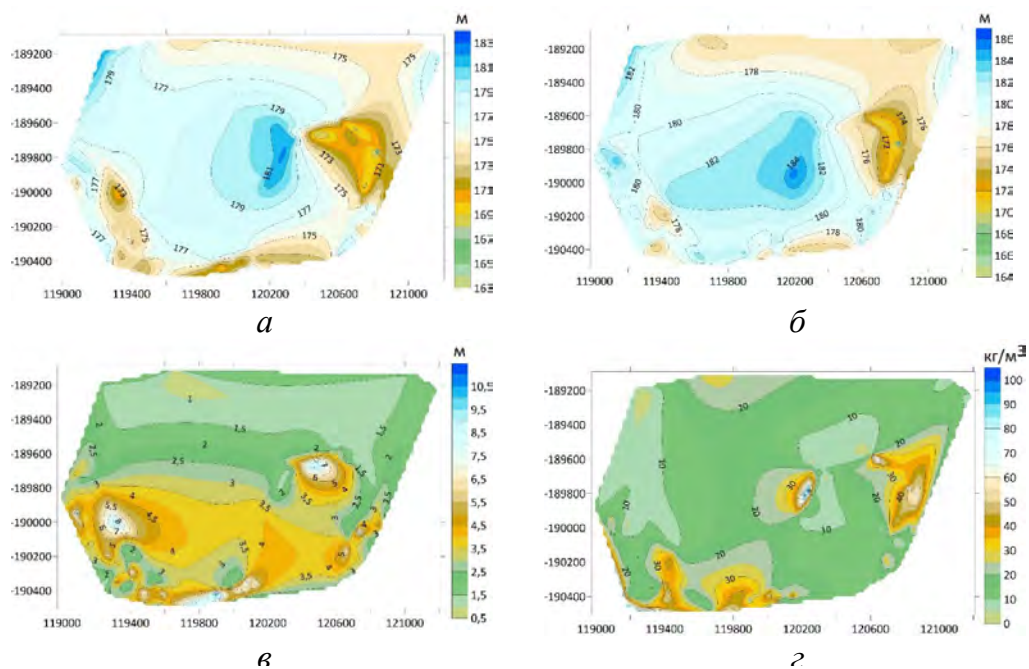


Рис. 6. Ізогіпси підшови (*а*), поверхні (*б*), ізопахіти товщини (*в*) піщано–кременевого горизонту мошно–руднянської світи та латеральний розподіл в них середнього вмісту ($\text{кг}/\text{м}^3$) ільменіту (*г*)

Кореляційний зв'язок між рельєфом підшови і покрівлі піщано-кременевого горизонту мошно-руднянської світи – прямий, середній (+0,65); між рельєфом підшови і товщиною – обернений, помірний (–0,45); між рельєфом підшови і середнім вмістом ільменіту – обернений, помірний (–0,38); між середнім вмістом ільменіту та товщиною – відсутній.

Незважаючи на те, що за результатами геолого-економічної оцінки ділянки Середня продуктивним горизонтом визнано континентальні відклади іршанської світи, на наш погляд кора вивітрювання та узбережно-морські утворення мошно-руднянської світи, враховуючи їх повсюдне поширення в межах ділянки та вміст ільменіту, можуть становити суттєвий резерв для нарощування ресурсного потенціалу. Для дослідження просторового взаємозв'язку середнього вмісту ільменіту в цих утвореннях нами побудовано профілі з заходу на схід за координатою –189800, та з півночі на південь за координатою 120200, які представлені на рисунках 7 і 8.

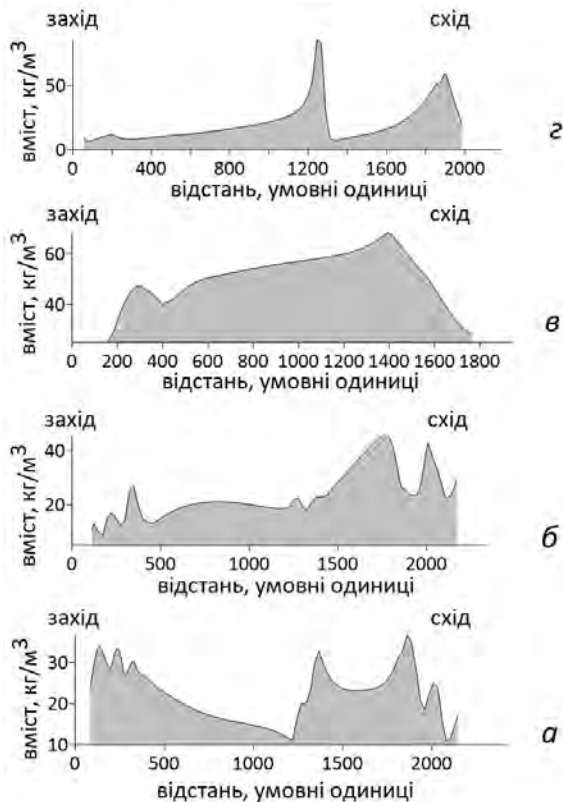


Рис. 7. Середній вміст ільменіту (кг/м³) за профілем -189800: *а* – каолін елювіальний; *б* – пісок іршанської світи; *в* – каолін перевідкладений іршанської світи; *г* – піщано-кременевий горизонт мошно-руднянської світи

Найбільш рівномірний розподіл середнього вмісту ільменіту як з заходу на схід так і з півночі на південь притаманний перевідкладеним каолінам. Каоліни елювіальні та континентальні піски характеризуються найбільш нерівномірним розподілом середнього вмісту ільменіту з заходу на схід. Тут наявне чергування ділянок різкого збільшення і різкого зменшення середнього вмісту мінералу, що підтверджує складну масштабну неоднорідну природу збагачення. Для піщано-кременевого горизонту в обох напрямках притаманний рівномірний розподіл середнього вмісту ільменіту з одним або двома піками його різкого збільшення. Загалом для профілю з півночі на південь за координатою 120200 притаманний більш рівномірний розподіл середнього вмісту ільменіту з плавними переходами від ділянок його збільшення до ділянок його зменшення.

Аналіз мінерального складу елювіальних, континентальних і узбережно-морських відкладів крейди дозволив встановити такі особливості: порівняно з елювіальними утвореннями в континентальних відкладах іршанської світи діагностовано більший вміст піриту, марказиту, корунду, титаномагнетиту, анатазу, каситериту, монациту, апатиту; у порівнянні з континентальними утвореннями нижньої крейди в узбережно-морських відкладах верхньої крейди більший вміст арсенопіриту, флюориту, титаномагнетиту, рутилу, топазу, дистену, силіманіту, ставроліту, альмандину, турмаліну, епідоту, піроксенів, амфіболів, глауконіту. Серед шкідливих домішок в каолінах елювіальних та пісках і перевідкладених каолінах іршанської світи міститься сидерит.

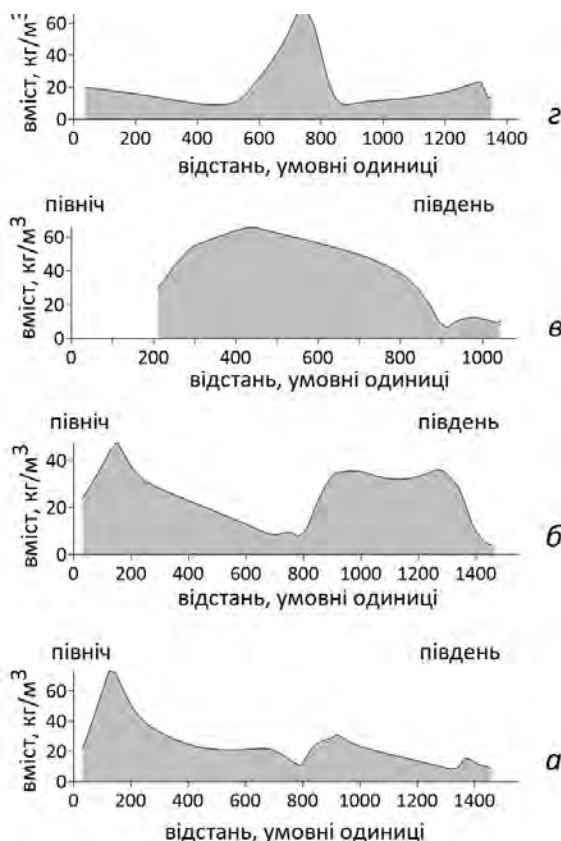


Рис. 8. Середній вміст ільменіту ($\text{кг}/\text{м}^3$) за профілем 120200: *а* – каолін елювіальний; *б* – пісок іршанської світи; *в* – каолін перевідкладений іршанської світи; *г* – піщано-кременевий горизонт мошно-руднянської світи

Породи розкриву представлені підморенними пісками, моренними супісками і суглинками, надморенними пісками, а також суглинками, супісками і ґрунтово-рослинним шаром. Найбільший вміст ільменіту за даними Т. Нестеренко притаманний підморенним ($20,2 \text{ кг}/\text{м}^3$) і надморенним піскам ($12,9 \text{ кг}/\text{м}^3$) і вверх за розрізом зменшується. Абсолютні відмітки підосви порід розкриву – 164,7–186,7 м (перепад висот 22,0 м); покрівлі – 185,8–191,78 м (перепад висот 5,98 м); товщина 2,5–16,5 м (середнє 10,92 м); середній вміст ільменіту – 0,8–19,27 $\text{кг}/\text{м}^3$ (середнє 6,5 $\text{кг}/\text{м}^3$).

Результати картографічного дослідження рельєфу підосви, поверхні, товщини порід розкриву та латерального поширення в них середнього вмісту ільменіту представлено на рисунку 9.

Рельєф підосви і поверхні порід розкриву плавний, але суттєво різний. Пониження рельєфу підосви відкладів відбувається в східному, південно-східному, південному, південно-західному і північно-західному напрямках, натомість пониження рельєфу покрівлі має чіткий напрямок – з північного заходу на південний схід (див. рис. 9, *а, б*). Підвищенням у рельєфі підосви відповідає зменшення товщини порід розкриву (див. рис. 9, *а, в*). Ареали підвищеного середнього вмісту ільменіту переважно просторово відповідають ареалам збільшення товщини порід розкриву (див. рис. 9, *в, г*).

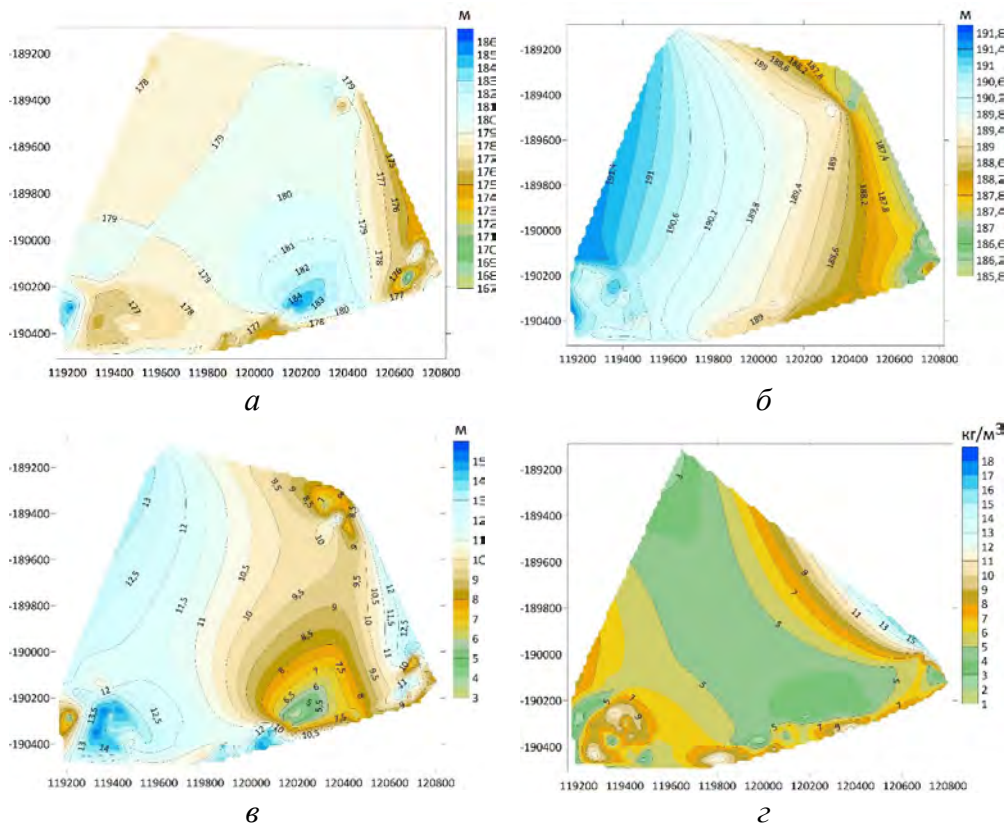


Рис. 9. Ізогіпси підшови (а), поверхні (б), ізопахіти товщини (в) порід розкриття та латеральний розподіл в них середнього вмісту (кг/м³) ільменіту (г)

Кореляційний зв'язок між рельєфом підшови і покрівлі порід розкриття – прямий, слабкий (+0,23); між рельєфом підшови і товщиною – обернений, сильний (-0,83); між рельєфом підшови і середнім вмістом ільменіту – обернений слабкий (-0,25); між середнім вмістом ільменіту та товщиною – прямий, слабкий (+0,23).

Зміна вмісту ільменіту у корі вивітрювання (верхня частина каолінової зони), апт-нижньоальбських континентальних, туронських узбережно-морських відкладах та у підшві порід розкриття у вертикальному перетині свердловин представлено на рисунку 10.

Для вертикального розподілу вмісту ільменіту характерним є збільшення вмісту ільменіту в континентальних відкладах (пісок, каолін перевідкладений) порівняно з каолінами елювіальними; загальне зменшення хоча і не завжди (див. рис. 10, а) вмісту ільменіту в узбережно-морських відкладах порівняно з континентальними і елювіальними; низький вміст ільменіту в водно-льодовикових і алювіальних утвореннях четвертинної системи. Загальною тенденцією для узбережно-морських відкладів є поступове зменшення вмісту ільменіту від підшови до покрівлі піщано-кременевого горизонту. Натомість в каолінах елювіальних, пісках і каолінах перевідкладених іршанської світи підвищені вмісти ільменіту присутні в нижній і верхній частинах розрізу.

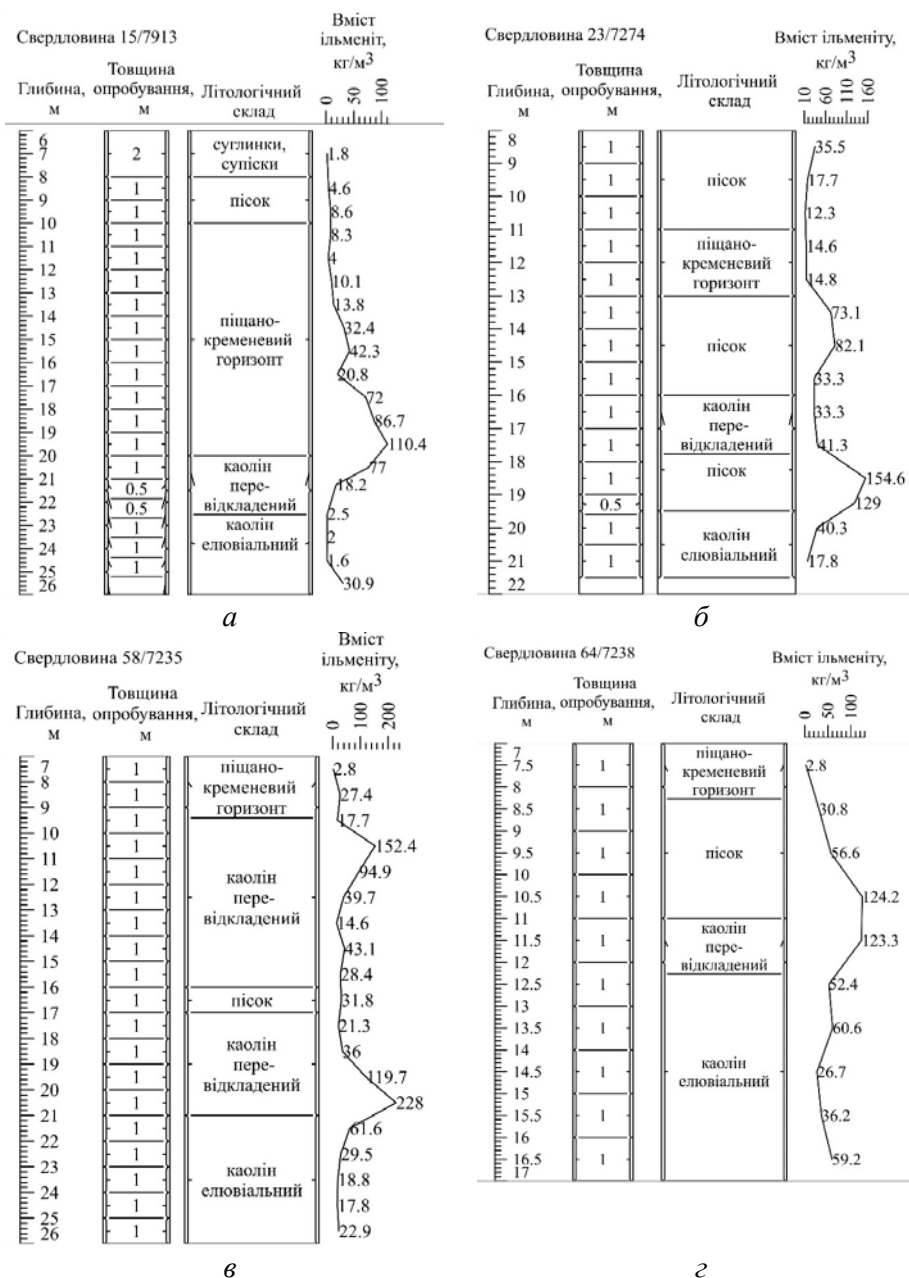


Рис. 10. Колонки розподілу вмісту (кг/м³) ільменіту у вертикальному перетині свердловин: а – № 15/7913; б – № 23/7274; в – № 58/7235; г – № 64/7238

Висновки та перспективи подальшого дослідження. У межах ділянки Середня Межирічного родовища титанових руд протягом геологічної історії розвитку території сформувалася різновікова і різногенетична просторово суміщена рудоносна система осадового

чохла, яка представлена корою вивітрювання кристалічних порід фундаменту основного складу; нижньокрейдовими (апт-нижній альб) континентальними відкладами іршанської світи, що утворилися внаслідок розмиву елювію і перевідкладення його речовини в межах палеодолин у корі вивітрювання; верхньокрейдовими (турон) узбережно-морськими відкладами мощно-руднянської світи, що утворилися внаслідок розмиву і перевідкладення елювію та континентальних відкладів нижньої крейди. Усі зазначені формаційні одиниці мають подібний мінеральний склад з деякими відмінностями та містять промислові вмісти ільменіту, найбільший вміст якого притаманний континентальним відкладам іршанської світи, які є продуктивними. Породи розкриву мають опосередкований зв'язок з рудоносними підстилаючими породами і містять ільменіт у незначній кількості.

За результатами аналізу і узагальнення раніше виконаних робіт у межах ділянки Середня укладено цільову атрибутивну базу даних, на основі якої здійснено картографічні побудови, які дали змогу дослідити характер рельєфу підшови, поверхні рудовмісних відкладів; латеральну зміну їхньої товщини; розподіл середнього вмісту ільменіту за латераллю та розподіл вмісту мінералу у вертикальному перетині у різних за віком, генезисом утвореннях мезозой-кайнозою.

З'ясовано, що рельєф підшови досліджених формаційних одиниць має мозаїчний характер з чергуванням підвищень і ерозійних понижень. Перепад висот підшови та покрівлі у досліджених формаційних одиницях переважно значний що відображає складну морфологію та неоднорідність умов осадонагромадження: каоліни елювіальні – 30/30,7 м; піщані відклади іршанської світи – 31,2/16,2 м; перевідкладені каоліни іршанської світи – 17,18/19,1 м; продуктивні відклади – 30/30,7 м; піщано-кремневий горизонт мощно-руднянської світи – 20,1/21,8 м; породи розкриву – 22,0/5,98 м.

Максимальний вміст у породі і максимальний середній вміст ільменіту у свердловинах досліджених утворень такий (кг/м³): у каолінах елювіальних – 265,6/25,1; в континентальних утвореннях іршанської світи – 461,6/262,62 (зокрема у делювіальних гравійно-галькових піщаних каолінах – 461,6, у перевідкладених каолінах – 426,9/256,1, у пісках каолінистих різнозернистих – 356,7/161,7; в узбережно-морському піщано-кремневою горизонті мощно-руднянської світи – 244,6/122,9; в гляціальних, флювіогляціальних і алювіальних породах розкриву – 20,2/19,27.

Усі відклади характеризуються мозаїчним розподілом середнього вмісту ільменіту за латераллю, проте ступінь неоднорідності та інтенсивність локальних аномалій різні. Елювіальні каоліни демонструють мозаїчний характер розподілу середнього вмісту ільменіту із помірними контрастами між сусідніми свердловинами: локальні підвищення вмісту ільменіту часто змінюються зниженням у сусідніх свердловинах. Збагачення ільменітом піщаних утворень іршанської світи має складну, масштабно неоднорідну природу – з виразними локальними зонами значних концентрацій, зокрема й на незначній відстані. Перевідкладені каоліни утворюють значні протяжні зони підвищеного середнього вмісту ільменіту. У піщано-кремневою горизонті просторовий розподіл середнього вмісту ільменіту мозаїчний, із локальними аномаліями, але без екстремальних піків, характерних для пісків іршанської світи. має помірні локальні аномалії.

Варіація середнього вмісту ільменіту при ускладненні рельєфу підшови вказує на морфологічний контроль розподілу титанової мінералізації, а саме локальні пониження підшови є ключовими зонами акумуляції та збагачення, незалежно від літологічного типу відкладу.

Вертикальний розподіл вмісту ільменіту у свердловинах має такі особливості: в елювіальних каолінах і континентальних пісках та перевідкладених каолінах нижньої крейди підвищені вмісти ільменіту наявні у нижній та верхній частинах

розрізу; в узбережно-морських відкладах наявне поступове зменшення вмісту ільменіту від підшови до покрівлі піщано-кременевого горизонту; в породах розкриття вміст ільменіту зменшується вверх за розрізом.

Незважаючи на те, що кора вивітрювання є основним джерелом ільменіту для формаційних одиниць, що утворилися внаслідок її розмиву і перевідкладення, вміст ільменіту в елювії, як правило менший, ніж у відкладах, що її безпосередньо перекривають. Вміст ільменіту у континентальних та узбережно-морських відкладах крейди здебільшого визначений фаціальними умовами їх нагромадження, рельєфом підшови та літологічним складом відкладів.

Для всіх досліджених стратиграфічних рівнів кореляційний зв'язок між рельєфом підшови і покрівлі прямий різної сили: від сильного – в каолінах елювіальних і каолінах перевідкладених, до середнього – в піщано-кременевого горизонті та помірного – в піщаних відкладах іршанської світи та продуктивних відкладах, до слабого – у породах розкриття. Кореляційний зв'язок між рельєфом підшови і товщиною майже у всіх відкладах – обернений різної сили: від сильного – у піщаних відкладах іршанської світи, продуктивних відкладах і породах розкриття, до помірного – в каолінах елювіальних і породах мошно-руднянської світи; відсутній – у каолінах перевідкладених. Кореляційний зв'язок між рельєфом підшови і середнім вмістом ільменіту у всіх відкладах – обернений різної сили: від помірного – в каолінах елювіальних, піщаних відкладах іршанської світи, відкладах мошно-руднянської світи до слабого – в каолінах перевідкладених і породах розкриття та дуже слабого – в продуктивних відкладах.

Кореляційний зв'язок між середнім вмістом ільменіту та товщиною прямий слабкий (піщані відклади іршанської світи та породи розкриття), дуже слабкий (продуктивні відклади) та відсутній (решта відкладів). Відсутність стабільного кореляційного зв'язку між товщиною та вмістом ільменіту свідчить про незалежність процесів акумуляції осадів від концентрації мінералів.

Отримані результати дослідження рельєфу підшови, покрівлі, товщини і середнього вмісту ільменіту вказують на просторову мінливість рудоносності та на складну взаємодію морфологічних та літологічних чинників у формуванні товщини та рудоносності різногенетичних відкладів.

Результати досліджень рудоносності ділянки Середня є інформаційною базою для загальної характеристики рудоносності Межирічного родовища титанових руд, зокрема для з'ясування подібних і відмінних рис у геологічній будові та рудоносності різних його ділянок.

Також результати досліджень є фактологічною базою для відпрацювання залишкових запасів ділянки Середня. На наш погляд, доцільно здійснити дорозвідку кори вивітрювання, яка поширена в межах усієї ділянки, містить значні ресурси ільменіту та досліджена недостатньо та на не повну товщину. У разі отримання позитивних результатів кора вивітрювання може бути зарахована до продуктивних відкладів. Також доцільно звернути увагу на піщано-кремений горизонт, який має середні товщини, але локально високі концентрації ільменіту, що визначає його як додатковий об'єкт перспективності. На деяких ділянках родовища він частково включений до продуктивних відкладів.

Встановлені особливості просторового поширення рудоносності у різновікових і різногенетичних просторово суміщених формаційних одиницях мають практичне значення для прогнозування продуктивності титанових родовищ та оптимізації пошуково-розвідувальних та експлуатаційних робіт.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ганжа О.А., Луньов Є.С., Стародубець К.М., Луньова І.М. Структурно-літологічна модель Межирічного родовища ільменіту. *Геологічна будова та корисні копалини України: Тези Всеукраїнської наукової конференції*. (Київ, 16–17 вересня 2025 р.). С. 233–237.
2. Ганжа О.А., Луньов Є.С., Стародубець К.М., Луньова І.М., Чумак А.В. Порівняльний аналіз рудоносності ділянок Межирічного родовища ільменіту. *Геохімія та рудоутворення*. Випуск 46. 2025. С. 13–25. <https://doi.org/10.15407/gof.2025.46.013>
3. Гурський Д.С., Єсипчук К.Ю., Калінін В.І. та ін. *Металічні і неметалічні корисні копалини України. Металічні корисні копалини*. Київ–Львів: Центр Європи, 2005. Т. 1. 785 с.
4. Ковальчук М.С. Геолого-генетичні моделі рудоносних кір вивітрювання та продуктів їх розмиву і перевідкладення. *Здобутки і перспективи розвитку геологічної науки в Україні: 36. тез наук. конф., присвяченої 50-річчю Ін-ту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка (14–16 трав. 2019 р., м. Київ). У 2-х т. Київ: НАН України, ІГМР ім. М.П. Семененка. 2019. Т. 2. С. 53–54.*
5. Ковальчук М.С., Фігура Л.А. Континентальні відклади іршанської світи ділянки Середня Межирічного родовища та їх рудоносність. *Від Мінералогії і Геогнозії до Геохімії, Петрології, Геології та Геофізики: фундаментальні і прикладні тренди XXI століття: Збірка тез конференції* (Київ, 12–13 листопада 2025 р.). Київ, 2025. С. 67–70.
6. Ковальчук М.С., Фігура Л.А. Ільменітоносність порід розкриття ділянки Середня Межирічного родовища. *Сучасні проблеми гірничої геології та геоєкології: VI Міжнародна наукова конференція ДУ «НЦ гірничої геології, геоєкології та розвитку інфраструктури»*. (Київ, 17–18 листопада 2025 р.). Київ, 2025. С. 36–40. doi.org/10.59911/conf.mpmgg.2025.s7
7. Фігура Л.А., Ковальчук М.С. Рудоносність Осинової ділянки Межирічного родовища титанових руд. *Геохімія та рудоутворення*. 2022. Вип. 43. С. 59–73. <https://doi.org/10.15407/gof.2022.43.059>
8. Фігура Л.А., Ковальчук М.С. Геологічна будова та рудоносність Юрської ділянки Межирічного родовища титанових руд. *Мінералогічний журнал*. 2023. Вип. 45, №4. С. 100–117. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.45.04.100>
9. Фігура Л.А., Ковальчук М.С. Поліхронно-полігенна просторово-парагенетична ільменітоносність Букінської ділянки Межирічного родовища титанових руд. *Вісник Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна, серія Геологія, географія, екологія*. 2023 (59) С. 55–71 <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-05>
10. Фігура Л.А., Ковальчук М.С. Рудоносність Юрської ділянки Межирічного родовища титанових руд. *Проблеми прикладних геологічних наук і шляхи їх подолання (до 160-річчя від дня народження В.І. Вернадського): 36. матеріалів наук. конф.* (Київ, 19–20 вересня 2023 р.) / НАН України, Ін-т геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка. Київ, 2023. С. 79–83.
11. Фігура Л.А., Ковальчук М.С. Латеральний розподіл середнього вмісту ільменіту в продуктивних відкладах Букінської ділянки Межирічного родовища титанових руд. *Вісник Львівського університету. Серія геологічна*. 2023. № 37. С. 72–82. <https://doi.org/10.30970/vgl.37.06>
12. Фігура Любов, Ковальчук Мирон. Рудоносність Ємилівської ділянки Межирічного родовища титанових руд. *Вісник Львівського університету. Серія геологічна*. Вип. 39. 2025. С. 189–204. <https://doi.org/10.30970/vgl.39.15>

REFERENCES

1. Ganzha, O.A., Lunov, Ye.S., Starodubets, K.M., Lunova, I.M. (2025). Strukturno-litolohichna model Mezhyrichnoho rodovyshcha ilmenitu [Structural and lithological model

- of the Mezhyrichne ilmenite deposit]. *Heolohichna budova ta korysni kopalyny Ukrainy: Tezy Vseukrainskoi naukovoï konferentsii*. (Kyiv, 16–17 veresnia 2025 r.). P. 233–237. [in Ukrainian].
- Ganzha, O.A., Lunov, Ye.S., Starodubets, K.M., Lunova I.M., Chumak A.V. (2025). Porivnialnyi analiz rudonosnosti dilianok Mezhyrichnoho rodovyshcha ilmenitu. *Heokhimiia ta rudoutvorennia. – Geochemistry and ore formation*. Vol. 46. P. 13–25. <https://doi.org/10.15407/gof.2025.46.013> [in Ukrainian].
 - Hurskyi, D.S., Yesypchuk, K.Iu., Kalinin, V.I. et al. (2005). Metalichni i nemetalichni korysni kopalyny Ukrainy, Metalichni korysni kopalyny [Metallic and non-metallic minerals of Ukraine Metallic minerals]. Kyiv-Lviv: Center of Europe. Vol. 1. [in Ukrainian].
 - Kovalchuk, M.S. (2019). Heoloho-henetychni modeli rudonosnykh kir vyvitriuvannia ta produktiv yikh rozmyvu i perevidkladennia [Geological and genetic models of ore-bearing weathering crusts and their erosion and redeposition products]. *Zdobutky i perspektyvy rozvytku heolohichnoi nauky v Ukraini: Zb. tez nauk. konf., prysviachenoï 50-richchii In-tu heokhimiï, mineralohii ta rudoutvorennia im. M.P. Semenena* (Kyiv, 14–16 trav. 2019 r.). U 2-kh t. Kyiv: NAN Ukrainy, IHMR im. M.P. Semenena. 2. P. 53–54. [in Ukrainian].
 - Kovalchuk, M.S., Figura, L.A. (2025). Kontynentalni vidklady irshanskoï svity dilianky Serednia Mezhyrichnoho rodovyshcha ta yikh rudonosnist [Continental deposits of the irshanska suite in the section Serednya of the Mezhyrichne deposit and their ore content]. *Vid Mineralohii i Heohnozii do Heokhimiï, Petrolohii, Heolohii ta Heofizyky: fundamentalni i prykladni trendy XXI stolittia*. Zbirka tez konferentsii (Kyiv, 12–13 lystopada 2025 r.). Kyiv, 2025. S. 67–70. [in Ukrainian].
 - Kovalchuk, M.S., Figura, L.A. (2025). Ilmenitonosnist porid rozkryvu dilianky Serednia Mezhyrichnoho rodovyshcha [Ilmenite content of the overburden rocks in the Serednya section of the Mezhyrichne deposit]. Suchasni problemy hirnychoï heolohii ta heoekolohii: VI Mizhnarodna naukova konferentsiia DU «NTs hirnychoï heolohii, heoekolohii ta rozvytku infrastruktury». (Kyiv, 17–18 lystopada 2025 r.). P. 36–40. doi.org/10.59911/conf.mpmgg.2025.s7 [in Ukrainian].
 - Figura, L.A., Kovalchuk, M.S. (2022). Rudonosnist Osynovoï dilianky Mezhyrichnoho rodovyshcha tytanovykh rud [Ore-bearing of the Osynova area of the Mezhyrichne deposit of titanium ores]. *Heokhimiia ta rudoutvorennia – Geochemistry and ore formation*. Vol. 43. P. 59–73. <https://doi.org/10.15407/gof.2022.43.059> [in Ukrainian].
 - Figura, L.A., Kovalchuk, M.S. (2023). Heolohichna budova ta rudonosnist Yurskoï dilianky Mezhyrichnoho rodovyshcha tytanovykh rud [Geological structure and ore-bearing of the Yurska area of the Mezhyrichny titanium ore deposit]. *Mineralohichnyi zhurnal – Mineralogical Journal (Ukraine)*. Vol. 45, №4. P. 100–117. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.45.04.100> [in Ukrainian].
 - Figura, L.A., Kovalchuk, M.S. (2023). Polikhronno-polihenna prostorovo-parahenetychna ilmenitonosnist Bukinskoï dilianky Mezhyrichnoho rodovyshcha tytanovykh rud [Polychronic-polygenic spatial-paragenetic ilmenite bearing of the Bukinska area of the Mezhyrichny deposit of titanium ores]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu im. V.N. Karazina, seriia Heolohiia, heohrafiia, ekolohiia – Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series Geology. Geography. Ecology*. Vol. 59. P. 55–71. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-05> [in Ukrainian].
 - Figura, L.A., Kovalchuk, M.S. (2023). Rudonosnist Yurskoï dilianky Mezhyrichnoho rodovyshcha tytanovykh rud [Ore-bearing of the Yurska area of the Mmezhyrichny titanium ore deposit]. *Problemy prykladnykh heolohichnykh nauk i shliakhy yikh podolannia (do 160-richchia vid dnia narodzhennia V.I. Vernadskoho): Zbirnyk materialiv naukovoï konferentsii* (Kyiv, 19–20 veresnia 2023 r.) / NAN Ukrainy, In-t heokhimiï, mineralohii ta rudoutvorennia im. M.P. Semenena. Kyiv, P. 79–83. [in Ukrainian]

11. Figura Liubov, Kovalchuk Myron (2023). Lateralnyi rozpodil serednoho vmistu ilmenitu v produktyvnykh vidkladakh Bukinskoï diliianky Mezhyrichnoho rodovyshcha tytanovykh rud [Lateral distribution of the average content of ilmenite in the productive sediments of the Bukinska area of the Mezhyrichne titanium ore deposit]. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Seriiia heolohichna – Visnyk of Lviv university Series Geology*. Is. 37. P. 72–82. <https://doi.org/10.30970/vgl.37.06> [in Ukrainian].
12. Figura Liubov, Kovalchuk Myron (2025). Rudonosnist Yemylivskoi diliianky Mezhyrichnoho rodovyshcha tytanovykh rud. [Ore capacity of the Emylivska section of the Mezhyrichny titanium ore deposit]. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Seriiia heolohichna – Visnyk of Lviv university Series Geology*. Is. 39. P. 189–204. <https://doi.org/10.30970/vgl.39.15> [in Ukrainian].2023. 37. 5–13

ORE-BEARING CAPACITY OF THE SEREDNIA SECTION OF THE MEZHRYICHNE TITANIUM ORE DEPOSIT

Myron Kovalchuk, Liubov Figura

Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine, 55b, O. Gonchar Str., Kyiv, Ukraine, 01601

e-mail: kms1964@ukr.net; liuba_figura@ukr.net

The geological structure of the Serednia section of the Mezhyrichne titanium ore deposit includes crystalline basement rocks, their weathering crust, as well as continental and marine deposits of various ages belonging to the Mesozoic and Cenozoic. These comprise Lower Cretaceous continental formations of the Irshansk Suite, Upper Cretaceous coastal-marine deposits of the Moshno-Rudnyanska Suite, and glacial, fluvio-glacial, and alluvial formations of the Quaternary system. The useful mineral of the Serednia section is ilmenite, significant concentrations of which have been identified in the weathering crust of crystalline basement rocks, as well as in continental and coastal-marine Cretaceous deposits. The maximum ilmenite content in rocks is as follows (kg/m³): in the weathering crust – 265.6; in formations of the Irshansk Suite, particularly in deluvial gravel-pebble sandy kaolins – 461.6, in alluvial redeposited kaolins – 426.9, in alluvial polymictic sands – 356.7; in the sandy-siliceous horizon of the Moshno-Rudnyanska Suite – 244.6; in glacial formations – 20.2. The productive deposits are represented by continental formations of the Irshansk Suite, formed through erosion and redeposition of the weathering crust, within which erosional paleovalleys developed. Lithologically, the productive deposits are represented by redeposited kaolins, gravel-pebble sandy kaolins, and polymictic kaolinitic sands. Based on borehole coordinates, their descriptions, and sampling results, the spatial distribution of ilmenite content has been studied in the weathering crust, deposits of the Irshansk and Moshno-Rudnyanska Suites, in the productive layer, as well as in overburden rocks. It has been established that the thickness of ilmenite-bearing formations and the average ilmenite content in them, within the weathering crust and Lower Cretaceous continental formations, generally exhibit a mosaic distribution with distinct local zones of elevated values. The direction and strength of correlation relationships between key parameters of ilmenite-bearing formations have been analyzed: basal relief, roof relief, deposit thickness, and average ilmenite content. The obtained results refine the understanding of spatial variability of ore-bearing capacity within stratigraphically diverse and genetically heterogeneous formations of the Serednia section, and emphasize the necessity of detailed investigation of the ore-bearing potential of the weathering crust within the area.

Key words: Korosten pluton, Mezhyrichne deposit, Serednia section, ilmenite, ore-bearing capacity, weathering crust, Irshansk suite, Moshno-Rudnyanska suite, productive deposits, overburden rocks.

Дата першого надходження статті до видання: 22.01.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 23.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026

УДК 548.4:549.7:553.2:553.6 (477)
DOI <https://doi.org/10.30970/vgl.40.04>

КРИСТАЛОГЕНЕЗИС КАЛЬЦИТУ СІРЧАНИХ РОДОВИЩ ПРИКАРПАТТЯ

Олександр Вовк¹ <https://orcid.org/0000-0002-1509-0905>
Ігор Наумко² <https://orcid.org/0000-0003-3735-047X>
Галина Занкович² <https://orcid.org/0009-0003-6634-8042>

¹Волинський національний університет імені Лесі Українки,
вул. Банкова, 9, Луцьк, Україна, 43025
e-mail: geologygeochemistry@gmail.com

²Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України,
вул. Наукова, 3-а, Львів, Україна, 79060
e-mail: naumko@ukr.net; zankovuch@gmail.com

Розглянуто кристалогенезис кальциту із сірчаних родовищ Прикарпаття з урахуванням впливу кристалічної структури та умов мінералоутворення на морфологію багатогранників. Систематизовано літературні дані щодо методів прогнозування морфологічної важливості граней (ретикулярна густина з поправками Доннея–Гаркера (BFDH), метод періодичних ланцюгів зв'язку (PBC-векторів) Гартмана–Пердока, оцінка поверхневої енергії, симетрія грані за Шафрановським) та проаналізовано можливість їхнього застосування до кальциту. Показано, що геометричні методи, засновані лише на ретикулярній густині, не завжди адекватно відображають реальну морфологію, тоді як підхід, що враховує періодичні ланцюги зв'язку та поверхневі енергії, є фізично обґрунтованішим. У зразках із сірчаних родовищ встановлено широкий спектр простих форм: пінакоїд {00.1}, призму {10.0}, низку ромбоєдрів, скаленоєдрів і гексагональних діпірамід, серед яких габітусними є {02.1}, {40.1} та {21.1}. Виявлене морфологічне розмаїття пояснюється поєднанням структурних чинників (тип іонно-ковалентного зв'язку $\text{Ca}^{2+}\text{--CO}_3^{2-}$, просторові особливості групи R3c, PBC-вектори) та фізико-хімічних умов кристалізації. Розглянуто вплив домішок, зокрема Li^+ , на стабілізацію окремих граней і зміну габітусу. Окреслено напрями подальших досліджень, пов'язані з аналізом рідкісних форм і кількісною оцінкою співвідношення граней у різних генетичних типах родовищ.

Ключові слова: кальцит, кристалогенезис, кристаломорфологія, ретикулярна густина, PBC-вектори, поверхнева енергія, габітус, сірчані родовища, Прикарпаття.

Постановка проблеми. Кальцит – один із найпоширеніших мінералів природних геологічних процесів, зокрема є важливим компонентом мінерального складу сірчаних родовищ у Прикарпатському регіоні. Дослідження кристалогенезу кальциту має важливе значення для розуміння умов мінералоутворення і генезису родовищ в складних гідротермальних системах. У вітчизняних наукових працях мало приділялося уваги впливу кристалічної структури на зовнішню форму багатогранників кальциту. Тому доцільно провести комплексний аналіз впливу внутрішніх та зовнішніх чинників на кристаломорфологію кальциту, на основі сучасних даних і теоретичних досліджень, головню за матеріалами [11, 14, 15, 17 та ін.], ґрунтуючись на кристаломорфологічних особливостях кальциту із сірчаних родовищ Прикарпатського регіону, на багатогранниках якого виявлено найбагатшу кристаломорфологію.



З огляду на складність коректного відтворення від'ємних індексів та можливі проблеми з відображенням символів на різних операційних системах, надалі, за аналогією з [11], прості форми в тексті позначатимемо у вигляді $\{hk.l\}$, оскільки в установці Браве для тригональної та гексагональної сингоній індекси простої форми $\{hkil\}$ пов'язані співвідношенням $i = -(h + k)$. Найважливішими простими формами кальциту за [16] є $\{10.0\}$, $\{01.2\}$, $\{21.1\}$, $\{0001\}$, $\{10.1\}$ $\{02.1\}$ $\{40.1\}$ $\{16.0..1\}$ $\{11.0\}$.

Стан проблеми. В Україні кристалогенезис кальциту досліджували, головню, Б. В. Заціха і П. К. Вовк. Зокрема у [8] розглядається морфологія багатогранників кальциту зони зчленування Донбасу з Приазов'ям. Відомі й їхні праці не лише власне з кристаломорфології, але і впливу умов утворення на форму багатогранників кальциту, а також еволюції їхнього габітусу [7]. Передчасна смерть авторів перешкодила продовженню вивчення цього важливого мінералу. Частина неопублікованих даних П. К. Вовка згадують у [9]. В узагальнювальній праці [6] детально схарактеризовано особливості кристаломорфології багатогранників кальциту із різних регіонів України.

Однак у вітчизняній літературі відсутні згадки про дослідження впливу внутрішніх чинників на зовнішню форму кристалів кальциту, аналогічно до праць по топазу [4] і берилу [5]. Водночас за рубежем це питання розглядали детальніше. Так, Aquilano D. et al. [11] дослідили поверхневі властивості негативних форм кальциту $\{hk.l\}$ та провели їхнє порівняння з відповідними позитивними формами $\{hk.1\}$. Вони провели аналіз періодичних ланцюгів зв'язку (РВС-векторів) за методом Гартмана-Пердока, виконали розрахунки поверхневих та енергій приєднання за допомогою потенціалу Роля (Rohl potential) у програмі GULP, застосовували Метод пластин (2D-slab) для моделювання поверхонь та оцінки їх енергій після релаксації атомів. Автори порівняли пари ромбоєдрів $\{10.4\}$ і $\{10.-4\}$, $\{01.8\}$ і $\{01.-8\}$, $\{01.2\}$ і $\{01.-2\}$ та скаленоєдрів $\{21.4\}$ і $\{21.-4\}$. Розрахунок ретикулярної густини (BFDH-метод) не може розрізняти позитивні та негативні форми, оскільки базується лише на відстанях d_{hkl} , тоді, як аналіз періодичних ланцюгів зв'язку (НР-метод), що враховує кристалохімічні зв'язки, значно точніше пояснює реальну морфологію кальциту. Розрахунок поверхневої енергії показав, що найменшу енергію має форма спайності $\{10.4\}$ – 534 erg cm^{-2} , що підтверджує її стабільність і роль у формуванні рівноважного кристалу. Її негативний аналог $\{10.-4\}$ має більш, ніж удвічі вищу енергію ($\approx 1087 \text{ erg cm}^{-2}$), тому не може входити до рівноважної форми. Для інших пар різниця менша: $\{01.8\} / \{01.-8\}$: +15 %; $\{21.4\} / \{21.-4\}$: +22 %; $\{01.2\} / \{01.-2\}$: -4 % → негативна форма трохи стабільніша.

Рівноважна форма кристалу (ES, при 0 K), за [11], складається з форм:

- $\{10.4\}$ – плоский F-тип (спайність);
- $\{01.2\}$ – крутий F-тип;
- $\{10.0\}$ – призма S-типу;
- $\{00.1\}$ – пінакоїд K-типу.

Можливе включення форми $\{01.-2\}$ при незначному ($\sim 7\%$) зниженні її поверхневої енергії [11].

Отже, згідно з [11], НР-метод показав, що морфологія кальциту визначається не геометрією кристалічної ґратки, а поверхневою енергією та типом зв'язків між іонами Ca^{2+} і CO_3^{2-} .

- Негативні форми здебільшого мають вищу енергію і тому не входять до рівноважної форми кристалу, за винятком $\{01.-2\}$, яка потенційно може з'являтися за певних умов.
- Кальцит є «тестовим» мінералом для перевірки адекватності морфологічних моделей і дослідження його поверхонь має велике значення для біомінералізації та самоорганізованих систем (SAMS).

• Автори [11] вважають, що BFDH-метод не придатний для прогнозування морфологічної важливості граней кальциту, тоді як підхід Гартмана-Пердока дає фізично обґрунтовану картину.

Періодичні ланцюги зв'язку (PBC-вектори) у кальциті досліджував Heijnen W. M. M. [15]. Andrew J. Skinner, John P. LaFemina, Henri J.F. Jansen [10] вивчали роль хімічного зв'язку у кальциті, використовуючи повнопотенціальний метод лінійних розвинених плоских хвиль (FLAPW). Вплив Li^+ на морфологію на кристаломорфологію кальциту вивчали Pastero L., Costa E., Bruno M., Rubbo M., Sgualdino G., Aquilano D. [17].

Незважаючи на наявні публікації з кристаломорфології кальциту, як в Україні, так за кордоном, досі не проводили порівняння теоретично важливих простих форм з реальною морфологією багатогранників кальциту з родовищ України, що визначає актуальність нашого дослідження.

Мета. Обґрунтування впливу кристалічної структури та умов утворення на зовнішню форму багатогранників кальциту із сірчаних родовищ Прикарпаття за даними систематизації і аналізу авторських і літературних даних з кристаломорфологічних особливостей мінералу.

Виклад основного матеріалу. У сірчаних родовищах Прикарпаття кальцит є основною складовою вапняків і сірчаних руд [9]. В осірованих вапняках його вміст сягає 65–68 %. У сірчаних рудах виділяють три генерації кальциту: пелітоморфний, дрібнозернистий, крупнокристалічний, причому дрібнозернистий – утворився внаслідок перекристалізації пелітоморфного, а крупнозернистий – пелітоморфного та дрібнозернистого. Поширені утворення кальциту, які подібні до сталактитів. Характерні також друзи кальциту. Часто проявляються добре огранені багатогранники кальциту. Частина неопублікованих результатів гоніометричних досліджень кристалів, які вперше було отримано П. К. Вовком, стисло обговорили раніше [9]. Грані кристалів зрідка рівні, блискучі, вкриті фігурами росту і розчинення.

У зразках кальциту із сірчаних родовищ Прикарпаття виявлено найбагатшу кристаломорфологію багатогранників, порівняно з іншими регіонами України (рис. 1–2), зокрема, на кристалах серед простих форм визначено пінакоїд {00.1}, призму {10.0}, ромбоєдри {10.1}, {02.1}, {40.1}, {08.1}, {05.4}, {13.0..1}, скаленоєдри {21.1}, {62.5}, {6.4..3}, {10.4..3} та гексагональні діпіраміди {22.1}, {44.3}, {7.7.3}. Морфологічне розмаїття зумовлене наявністю численних скаленоєдрів, зокрема рідкісних {62.5}, {6.4..3}, {10.4..3}, а також гексагональних діпірамід {44.3}, {7.7..3}. На окремих кристалах часто поєднується кілька простих форм.

За габітусом кристали поділяють на два типи:

– ромбоєдричні, сформовані на базі форм {02.1} (див. рис. 1) або {40.1} (див. рис. 2a–f);

– скаленоєдричні, побудовані на базі форми {21.1} (див. рис. 2g, h).

На ромбоєдричних кристалах, окрім основного ромбоєдра {02.1}, трапляються другорядні ромбоєдри, гексагональні діпіраміди й скаленоєдри. У різновидах із базовою формою {40.1} проявляються додатково пінакоїд, призма, ромбоєдри та скаленоєдри. Для скаленоєдричних кристалів характерна наявність другорядних ромбоєдрів і гексагональних діпірамід.

Як видно з рис. 1–2, кристаломорфологія багатогранників кальциту із сірчаних родовищ Прикарпаття досить багата. Загальновідомо, що зовнішня форма кристалів залежить від їхньої внутрішньої структури та умов утворення. Існує багато методик визначення впливу кристалічної структури на морфологічну важливість простих форм та, часто, розрахунку рівноважної форми кристалу, зокрема розрахунок ретикулярної густини за

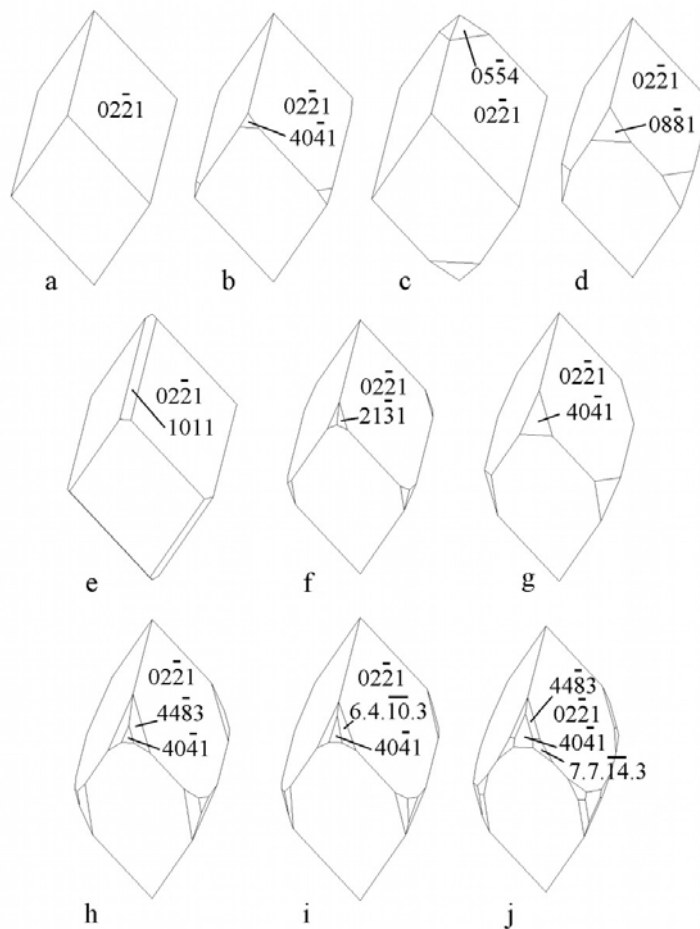


Рис. 1. Кристали кальциту ромбоєдричного габітусу на базі {02.1} з сірчаних родовищ Прикарпаття за [6]

законом Браве [12] з уточненням Доннея і Гаркера [13], впливу періодичних ланцюгів сильного зв'язку або РВС-векторів за Гартманом і Пердоком [14], величини симетрії грані за Шафрановським, відповідно до [4], розрахунок поверхневої енергії, тощо.

За нашими розрахунками найвищу ретикулярну густину, навіть із врахуванням поправок Доннея і Гаркера [13], має пінакоїд {00.1}. Далі у порядку зменшення {10.0}, {01.2}, {10.1}, {11.0}, {10.4}, {02.1}, {21.1}, {22.1}, {40.1}. У інших простих форм, які проявляються на багатогранниках кальциту, ретикулярна густина досить велика. Для розрахунку ретикулярної густини ми користувалися формулою, аналогічною до [4], але відповідно до виду симетрії кальциту. Рівноважну форму кристалу кальциту, відповідно до його ретикулярної густини, наведено на рис. 3а.

Згідно з І. І. Шафрановським, за аналогією до праць по топазу [4] і берилу [5], прості форми із більшою симетрією грані морфологічно важливіші за прості форми із меншою симетрією грані. Просторова група кальциту R3C. Враховуючи, що вісь симетрії третього порядку у кальциті є гвинтовою, максимальна величина симетрії грані

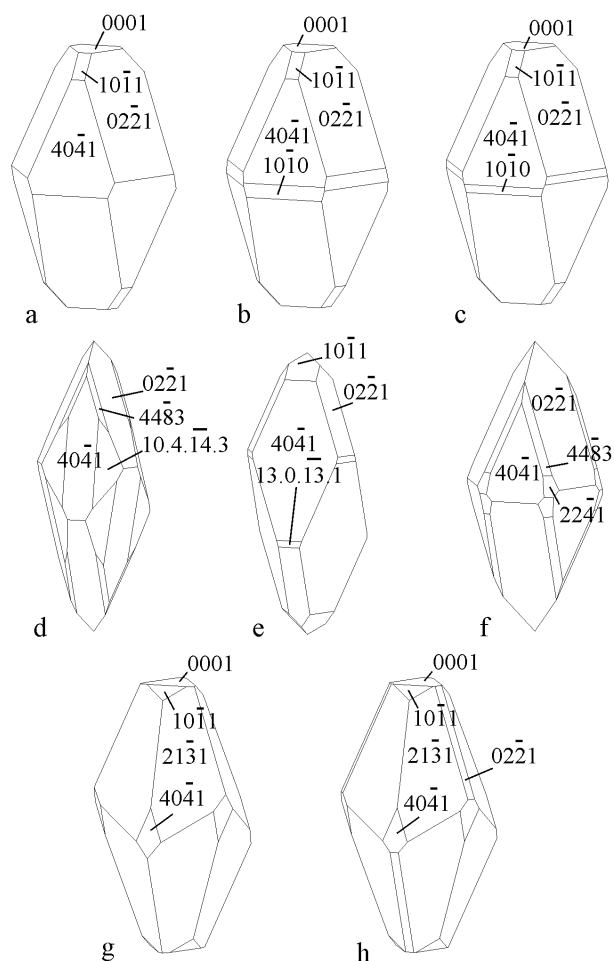


Рис. 2. Багатогранники кальциту ромбодричного на базі $\{40.1\}$ та скаленодричного габітусу із сірчаних родовищ Прикарпаття за [6]

у кальциту – 2. Отже, морфологічно важливими повинні бути призма $\{10.0\}$ та ромбоєдри (рис. 3b). З огляду на невисоку максимальну симетрію грані кальциту, це не дозволяє відтворити рівноважну форму, але на абсолютній більшості багатогранників кальциту із сірчаних родовищ Прикарпаття, та і з інших регіонів України, наявна або призма $\{10.0\}$, або один чи кілька ромбоєдрів, або і призма, і ромбоєдри.

Періодичні ланцюги зв'язку (РВС-вектори) у кальциті, відповідно до [15], простягаються у напрямках $\langle -311 \rangle$, $\langle 0-11 \rangle$ і $\langle -1-11 \rangle$, тому на багатогранниках кальциту є лише дві F-грані $\{21.1\}$ і $\{11.0\}$ та S-грань $\{10.-1\}$. Кристал кальциту, утворений F-гранями, зображений на рис. 3с.

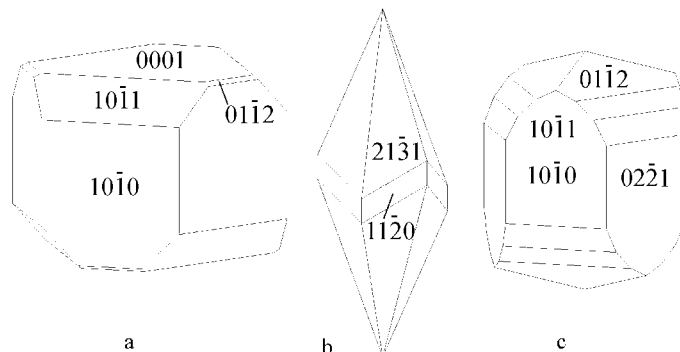


Рис. 3. Багатогранники кальциту, сформовані морфологічно важливими гранями, відповідно до кристалічної структури:

- а – рівноважна форма кристалу кальциту, відповідно до ретикулярної густини;**
- б – багатогранник кальциту, утворений F-гранями;**
- с – кристал кальциту, утворений високосиметричними простими формами**

На кристаломорфологію кальциту, крім кристалічної структури, впливають умови утворення. Andrew J. et al. [10] розглядають роль хімічного зв'язку у кальциті, використовуючи повнопотенціальний метод лінійних розвинених плоских хвиль (FLAPW). За їхніми даними:

- Кальцит характеризується комбінованим іонно-ковалентним зв'язком.
- Карбонатна група (CO_3^{2-}) структурно жорстка та майже не стискується під тиском.
- Оксиген у кальциті має розмір, подібний до Ca, що може впливати на реакційну здатність поверхні.
- Розрахунки підтверджують достовірність застосування DFT-FLAPW для вивчення електронної структури мінералів.
- Отримані результати корисні для моделювання сорбційних процесів важких металів на поверхні кальциту.

Вплив Li^+ на морфологію на кристаломорфологію кальциту досліджували Pastero L. et al. [17]. Відповідно до цієї праці, іони Li^+ значно змінюють морфологію кальциту, сприяючи появі плоских $\{0001\}$ граней.

- Цей ефект пояснюється епітаксійним утворенням 2D-шару Li_2CO_3 на реструктурованій поверхні кальциту.
- Завдяки такій адсорбції поверхня $\{0001\}$ переходить від «K-form» до «F-form», тобто стає стабільною та росте пошарово.
- Співвідношення $[\text{Li}^+]/[\text{Ca}^{2+}]$ і пересичення визначають домінують форму кристала – від ромбоєдричної до пластинчастої.
- Результати мають важливе значення для розуміння впливу домішок на морфологію карбонатів і для керованого синтезу кристалів у технологічних умовах.

Отже, матеріали порівняння морфології багатогранників кальциту з сірчаних родовищ Прикарпаття з теоретично розрахованими (див. рис. 3), відповідно до їхньої кристалічної структури, підтверджують важливість габітусних форм $\{02.1\}$ і $\{21.1\}$, але не можуть пояснити морфологічну важливість $\{40.1\}$. Водночас, високосиметричний ромбодр $\{01.2\}$, який має порівняно високу ретикулярну густину, на багатогранниках кальциту із сірчаних родовищ відсутній. Власне, теоретична морфологічна важливість простих форм, відповідно до структури мінералу і не повинна збігатися з морфологічною властивістю

простих форм багатогранників з конкретних родовищ. Морфологічно важливі, за даними аналізу кристалічної структури, прості форми повинні проявлятися за будь-яких умов і не несуть генетичної інформації [3]. Тому важливість {40.1} і практична відсутність {01.2} можуть бути наслідком умов утворення кальциту сірчаних родовищ Прикарпаття.

Висновки та перспективи подальшого дослідження

1. Кальцит належить до найпоширеніших мінералів генетично розмаїтих породо-рудних комплексів, тому його кристалогенезис має не лише теоретичне, але і прикладне значення.

2. Виходячи з аналізу кристалічної структури, морфологічно важливими простими формами кальциту повинні бути {00.1}, {10.0}, {10.1}, {02.1}, {01.2}, {21.1}.

3. На багатогранниках кальциту із сірчаних родовищ Прикарпаття виявлені такі прості форми: пінакоїд {00.1}, призму {10.0}, ромбоєдри {10.1}, {02.1}, {40.1}, {08.1}, {05.4}, {13.0..1}, скаленоедри {21.1}, {62.5}, {6.4..3}, {10.4..3} та гексагональні діпіраміди {22.1}, {44.3}, {7.7..3}. З них габітусними є {02.1}, {40.1}, {21.1}.

4. Власне на багатогранниках кальциту з сірчаних родовищ Прикарпаття {02.1} і {21.1} габітусні форми добре узгоджуються з прогнозованими відповідно до кристалічної структури. Водночас, виходячи з теоретичних розрахунків, габітусна форма {40.1} не повинна бути морфологічно важливою.

5. Подальших досліджень вимагають прояви на багатогранниках кальциту з сірчаних родовищ Прикарпаття рідкісних ромбоєдрів {08.1}, {05.4}, {13.0..1}, скаленоедрів {62.5}, {6.4..3}, {10.4..3} і дипірамід {44.3}, {7.7..3}, також відсутність важливого на кристалах з інших родовищ ромбоєдра {01.2}.

6. Окремим напрямком, який потребує досліджень, є визначення зміни співвідношень гранних форм на багатогранниках кальциту, як було зроблено для топазу [2] і кварцу [1].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Вовк О. П., Наушко І. М., Занкович Г. О. Псевдосиметрія кристалів кварцу та її мінералого-генетичне значення. *Мінерал. журн.* 2025. Т. 47. № 1. С. 33–44. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.47.01.033>
2. Вовк О. П., Наушко І. М., Павлишин В. І. Генетичне значення зміни співвідношення між гранними формами кристалів топазу з камерних пегматитів Коростенського плутону (Український щит). *Мінерал. журн.* 2022. Т. 44. № 3. С. 40–47. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.44.03.040>
3. Вовк О. П., Vovk O. P. Кристаломорфологія топазу і берилу камерних пегматитів Коростенського плутону (північно-західна частина Українського щита): автореф. Dissertation Abstract. 2016. URL: <http://evnuir.vnu.edu.ua/handle/123456789/10777> (дата звернення: 11.12.2025).
4. Вовк О., Наушко І. Зв'язок кристалічної структури з особливостями морфології топазу з камерних пегматитів Волині. *Мінерал. зб.* 2013а. № 63. Вип. 1. С. 52–59.
5. Вовк О., Наушко І. Кристаломорфологія берилу з камерних пегматитів Волині. *Мінерал. зб.* 2013б. № 63. Вип. 2. С. 82–89.
6. Вовк О., Наушко І., Занкович Г. Регіональні особливості кристаломорфології кальциту деяких родовищ України. *Мінерал. зб.* 2025. № 75. С. 29–42. <https://doi.org/10.30970/min.75.02>
7. Занкович, Г. О. Геохімія флюїдів прожилково-вкрапленої мінералізації перспективно нафтогазоносних комплексів північно-західної частини Кросненської зони Українських Карпат [Автореф. дис. канд. геол. наук]. Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України. Львів, 2016.
8. Заціха Б. В., Вовк П. К. Про кальцити зони зчленування Донбасу з Приазов'ям. Доп. АН УРСР. Сер. Б. 1969. № 7. С. 586–589.
9. Матковський О. І. (Головн. ред.) Мінерали Українських Карпат. Борати, арсенати, фосфати, молібдати, сульфати, карбонати, органічні мінерали і мінералоїди. Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2003. 344 с.

10. Andrew J., Skinner A. J., LaFemina J. P., Jansen H. J. F. Structure and bonding of calcite: A theoretical study. *Amer. Mineralogist*. 1994. Vol. 79. P. 205–214.
11. Aquilano D., Benages-Vilau R., Bruno M., M. Rubboa M., & Massaroa F. R. Positive {hk.l} and negative {hk.l} forms of calcite (CaCO₃) crystal. New open questions from the evaluation of their surface energies. *CrystEngComm*. 2013. Vol. 15, No. 22. P. 4465. URL: <https://doi.org/10.1039/c3ce40203g> (date of access: 31.10.2025).
12. Bravais A. Etudes cristallographiques. *Journ. De l'Ecole polytechnique*. 1851. Vol. 34. P. 166–170.
13. Donnay J. D. H., Harker D. A new law of crystal morphology extending the law of Bravais. *Amer. Mineralogist*. 1937. Vol. 23. P. 446–467.
14. Hartman P., Perdok W. On relation between crystal structure and crystal morphology. *Acta cryst.* 1955. Vol. 8. P. 49–52.
15. Heijnen W. M. M. Crystal growth and morphology of calcium oxalates and carbonates: Kristalgroei en morfologie van calciumoxalaten en-carbonaten. Alblasterdam: Offsetdrukkerij Kanters, 1986. 186 p.
16. Kostov I. Mineralogy, Oliver & Boyd, Edinburgh, 1968. 587 p.
17. Pastero L., Costa E., Bruno M., Rubbo M, Sgualdino G., & Aquilano D. Morphology of Calcite (CaCO₃) Crystals Growing from Aqueous Solutions in the Presence of Li+Ions. Surface Behavior of the {0001} Form. *Crystal Growth & Design*. 2004. Vol. 4, No. 3. P. 485–490. URL: <https://doi.org/10.1021/cg034217r> (date of access: 31.10.2025).

REFERENCES

1. Vovk, O. P., Naumko, I. M., & Pavlyshyn, V. I. (2022). Henetychne znachennia zminy spivvidnoshennia mizh hrannymy formamy krystaliv topazu z kamernykh pehmatyiv Korostenskoho plutonu (Ukrainskyi shchyt) [Genetic significance of variations in the faces of the simple forms of topaz crystal from chamber pegmatites of the Korosten pluton (Ukrainian shield)]. *Mineral. Journal*, 44, 3, 40–47 [In Ukrainian].
2. Vovk, O. P., Naumko, I. M., & Zankovych, H. O. (2025). Psevdosymetriia krystaliv kvartsu ta yii mineraloho-henetychne znachennia [Pseudosymmetry of quartz crystals and its mineralogical-genetic significance]. *Mineral. Journal*, 47, 1, 33–44. [In Ukrainian].
3. Vovk, O. P. (2016). Krystalomorfolohiia topazu i berylu kamernykh pehmatyiv Korostenskoho plutonu (pivnichno-zakhidna chastyna Ukrainskoho shchyt) [Crystallomorphology of topaz and beryl from chamber pegmatites of the Korosten pluton (northwestern part of the Ukrainian Shield)] [Extended abstract of PhD thesis in geology]. M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of NAS of Ukraine. [In Ukrainian].
4. Vovk, O., & Naumko I. (2013a). Zviazok krystalichnoi struktury z osoblyvostiamy morfolohii topazu z kamernykh pehmatyiv Volyni [Relationship of crystal structure with morphology features of topaz from chamber pegmatites of Volyn]. *Min. Coll.*, 63, 1, 52–59 [In Ukrainian].
5. Vovk, O., & Naumko, I. (2013b). Krystalomorfolohiia berylu z kamernykh pehmatyiv Volyni [Crystal morphology of beryl from chamber pegmatites of Volyn]. *Min. Coll.*, 63, 2, 82–89 [In Ukrainian].
6. Vovk, O., Naumko, I., & Zankovych, H. (2025). Rehionalni osoblyvosti krystalomorfolohii kaltsytu deiakykh rodovyshch Ukrainy [Regional features of calcite crystallomorphology of some deposits of Ukraine]. *Min. Coll.*, 75, 29–42. [In Ukrainian].
7. Zankovych, H. O. (2016). Heokhimiia fluidiv prozhylkovo-vkraplenoi mineralizatsii perspektyvno naftohazonosnykh kompleksiv pivnichno-zakhidnoi chastyny Krosnenskoj zony Ukrainskykh Karpat [Geochemistry of fluids of vein-disseminated mineralization of promising oil- and gas-bearing complexes of the northwestern part of the Krosno zone of the Ukrainian Carpathians] [Extended abstract of PhD thesis in geology]. Instytut heolohii i heokhimii horiuchykh kopalyn NAN Ukrainy, Lviv [In Ukrainian].
8. Zatsikha, B. V., & Vovk, P. K. (1969). Pro kaltsyty zony zchlenouvannia Donbasu z Pryazoviam [On calcites of the junction zone between the Donbas and the Azov region]. *Dop. AN URSR*. Ser. B, 7, 586–589 [In Ukrainian].
9. Matkovskiy, O. I. (Chief Ed.). (2003). Mineraly Ukrainskykh Karpat. Boraty, arsenaty, fosfaty, molibdaty, sulfaty, karbonaty, orhanichni mineraly i mineraloidy [Minerals of the

- Ukrainian Carpathians. Borates, arsenates, phosphates, molybdates, sulfates, carbonates, organic minerals and mineraloids]. Lviv: Vydavnychiy tsentr LNU im. Ivana Franka, 344 p. [In Ukrainian]
10. Andrew, J. Skinner, A. J., LaFemina, J. P., & Jansen, H. J. F. (1994). Structure and bonding of calcite: A theoretical study. *Amer. Mineralogist*. Vol. 79. P. 205–214.
 11. Aquilano D., Benages-Vilau R., Bruno M., M. Rubboa M., & Massaroa F. R. (2013). Positive {hk.l} and negative {hk.l} forms of calcite (CaCO₃) crystal. New open questions from the evaluation of their surface energies. *CrystEngComm*. Vol. 15, No. 22. P. 4465. URL: <https://doi.org/10.1039/c3ce40203g> (date of access: 31.10.2025).
 12. Bravais, A. (1851). Etudes cristallographiques. *Journ. De l'Ecole polytechnique*. Vol. 34. P. 166–170.
 13. Donnay, J. D. H., & Harke, D. (1937). A new law of crystal morphology extending the law of Bravais. *Amer. Mineralogist*. Vol. 23. P. 446–467.
 14. Hartman, P., & Perdok, W. (1955). On relation between crystal structure and crystal morphology. *Acta cryst.* Vol. 8. P. 49–52.
 15. Heijnen, W. M. M. Crystal growth and morphology of calcium oxalates and carbonates: Kristalgroei en morfologie van calciumoxalaten en-carbonaten. Alblasterdam: Offsetdrukkerij Kanters, 1986. 186 p.
 16. Kostov I. Mineralogy, Oliver & Boyd, Edinburgh, 1968. 587 p.
 17. Pastoro L., Costa E., Bruno M., Rubbo M, Sgualdino G., & Aquilano D. Morphology of Calcite (CaCO₃) Crystals Growing from Aqueous Solutions in the Presence of Li⁺ Ions. Surface Behavior of the {0001} Form. *Crystal Growth & Design*. 2004. Vol. 4, No. 3. P. 485–490. URL: <https://doi.org/10.1021/cg034217r> (date of access: 31.10.2025).

CRYSTAL GENESIS OF CALCITE FROM SULFUR DEPOSITS OF PRYKARPATTYA

Oleksandr Vovk¹, Ihor Naumko², Halyna Zankovych²

¹ Lesya Ukrainka Volyn National University, 9, Bankova Str., Lutsk, Ukraine, 43025
e-mail: geologygeochemistry@gmail.com

² Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of the NAS of Ukraine, 3-a, Naukova Str., Lviv, Ukraine, 79060
e-mail: naumko@ukr.net; zankovuch@gmail.com

The crystal genesis of calcite from sulfur deposits of Prykarpattya is examined with consideration of the influence of crystal structure and mineral formation conditions on the morphology of polyhedra. Published data on methods for predicting the morphological importance of crystal faces are systematized, including the Donnay–Harker corrected reticular density approach (BFDH), the Hartman-Perdok periodic bond chain (PBC) vector method, surface energy estimation, and Shafranovsky's face symmetry criterion. The applicability of these methods to calcite is analyzed. It is shown that geometrical methods based solely on reticular density do not always adequately reproduce the real morphology, whereas approaches that account for periodic bond chains and surface energies are more physically substantiated. Samples from sulfur deposits display a wide spectrum of simple forms: the pinacoid {00.1}, the prism {10.0}, a series of rhombohedra, scalenohedra, and hexagonal dipyramids, among which {02.1}, {40.1}, and {21.1} are habit-defining. The observed morphological diversity is explained by the combined effect of structural factors (the mixed ionic–covalent character of the Ca²⁺–CO₃²⁻ bond, spatial features of the R3C space group, and PBC vectors) and the physicochemical conditions of crystallization. The influence of impurities, particularly Li⁺, on the stabilization of specific faces and modification of crystal habit is considered. Directions for further research are outlined, including the study of rare forms and the quantitative evaluation of face ratios in different genetic types of deposits.

Key words: calcite, crystal genesis, crystal morphology, reticular density, PBC vectors, surface energy, crystal habit, sulfur deposits, Prykarpattya.

Дата першого надходження статті до видання: 25.01.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 23.03.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026

UDC (08.4) 553.98(477)
DOI <https://doi.org/10.30970/vgl.40.05>

CONDITIONS OF THE HEAVY OILS GENERATION AND THEIR DISTRIBUTION IN THE TERRITORY OF UKRAINE

Ihor Hubysh,
Ihor Shaynoha, <https://orcid.org/0000-0003-3657-1318>
Yurii Baloh
Valentyn Ilchuk, <https://orcid.org/0009-0000-1613-9718>

*Ivan Franko National University of Lviv, Faculty of Geology, 4, Hrushevskoho Str.,
Lviv, Ukraine, 79005
e-mail: ihor.hubysh@lnu.edu.ua; ihor/shaynoha@lnu.edu.ua; yurii.baloh@lnu.edu.ua;
valentyn.ilchuk@lnu.edu.ua*

The article examines the conditions of formation, transformation mechanisms, and spatial distribution of heavy oils in the major petroleum-bearing regions of Ukraine, including the Dniprovsko–Donetska Depression, the Precarpathian area, and the Crimean region. The aim of the study is to determine the conditions of heavy-oil accumulation and to characterize their distribution across Ukraine. It has been established that heavy oils, which are defined by increased density and a high content of resin–asphaltene components, are formed primarily through degradation processes affecting light and medium crude oils. This research integrates field observations, laboratory experiments, and theoretical concepts to evaluate the contributions of biodegradation, degassing, leaching of water-soluble fractions, and sulphate-induced oxidation to the formation of heavy oils. Particular emphasis is placed on the role of sulphate reduction and polysulphide formation, which intensify hydrocarbon oxidation and accelerate the transition of oils into heavier forms. Chromatographic analysis of n-alkanes from fields with different geological settings demonstrates systematic depletion of light hydrocarbons, shifts in carbon-number distribution maxima, and an increase in sulphur-bearing compounds. Experimental interaction of n-alkanes with sulphate and sulphide ions at low temperatures (40 °C) simulates natural hypergene processes and confirms the catalytic function of hydrogen sulfide in promoting hydrocarbon oxidation through polysulfide intermediates. The results highlight region-specific factors controlling heavy-oil formation, including burial depth, reservoir hydrochemistry, gas saturation, and the influence of meteoric waters. This integrated analysis enhances the understanding of heavy-oil evolution in Ukrainian basins and provides a conceptual framework for predicting the distribution of viscous hydrocarbon accumulations, which is crucial for optimizing exploration strategies and developing technologies for their efficient recovery.

Key words: heavy oils, biodegradation, sulphate reduction, polysulphides, hydrocarbon oxidation, n-alkanes distribution, chromatographic analysis, Dniprovsko–Donetska Depression, Precarpathian region, Crimean region.

Introduction. The important direction of the further development of oil production industry is the studying of hardly recoverable hydrocarbons, among which the significant part belongs to degraded oils with density more than 870 kg/m³. By the data of J. Hunt [5], B. Tisso and D. Vette [12] they are formed in the result of the destruction process (degradation), which includes: degassing, biodegradation (oxygen and sulphate oxidization) and leaching of the water-soluble components of oil.



Research analysis. Biramzhe and M. Bestuzhev [4] suppose that degassing and leaching of hydrocarbons change only the fractional composition of oils, but not their chemical composition. Their chemical composition undergoes the influence of outer agents-oxygen and sulphur. Sulphuring changes the oil composition and the chemical structure of its components. The experiment was carried out, during which oil distillates were heated to 150-170°C with 5 % sulphur powder during 5 hours in a cylinder with a mixer and a cooler. The following conclusions were drawn: a great number of asphaltenes were formed; distribution of sulphide compounds in the products, obtained in the laboratory, is analogous to natural ones in sulphide oils.

At studying the problem of the sulphur compounds origin in oil it is very important to investigate the process of the sulphur genesis.

H. Smith [11] considers two ways of sulphur formation under natural conditions. The first way is as follows: complex organic sulphur-bearing compounds, aminoacids, for example, which are like D-cysteine $\text{HSCH}_2\text{CH}(\text{NH}_2)\text{CO}_2\text{COOH}$ or D-metione $\text{CH}_3\text{S}(\text{CH}_2)\text{CH}(\text{NH}_2)\text{CO}_2\text{H}$, are disintegrated forming molecular sulphur and hydrogen sulphide.

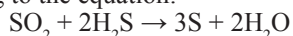
These data are proved by J. Hunt [5]: generation of H_2S takes place from organic compounds of sulphur, in the result of their disintegration in the source rocks at 130-150°C.

The second way is based on bacterial restoration of SO_4^{2-} in the presence of hydrocarbons, as a nutrient medium for microorganisms *Viebrio desulfuricans* with formation of hydrogen sulphide. Schematically this process looks like that:



Hydrogen sulphide, in its turn, interacts with SO_4^{2-} , that leads to formation of elementary sulphur.

S. Kushnir [8] calculated thermodynamic parameters of the process of the ion SO_4^{2-} restoration by various types of organic compounds. The obtained data show that all the reactions are endothermic, so they cannot be used by bacteria as a source for procuring energy. Thus, in the zone of hypergenesis an important role is played by not only biological, but purely chemical restoration of sulphates by hydrocarbons. All the obtained data show, that the ions SO_4^{2-} can really be reduced in formational waters to H_2S at the temperatures lower than 150°C, and the first product is not H_2S , but SO_2 . Simultaneous presence of H_2S and SO_2 in the system makes possible to form free sulphur according to the equation:



Thermodynamic calculations are given also by L. Anisimov [2]. They prove a principal possibility of formation of H_2S without bacteria participation, when CaSO_4 interacts with the organic compounds, spread in the nature, at low temperatures.

Possibility of chemical reduction of ions SO_4^{2-} is closely connected with chemical activity of hydrocarbons, which increases in the following sequence: alkanes < arenes < naphthenes < carboxylic acids < carbo-hydrates [3].

Oxidation. The changes of components during the given process are evident, but geochemical medium at great depths is reducing, so the oxidation of the oil pools is connected only with the zones, which are in the contact with free air or formational sulphate waters.

The investigations of R. Biramzhe and M. Bestuzhev [4] show, that in the process of oxidation pitches and asphaltenes cannot form. Having analyzed the literary and their own experimental data they came to the conclusions: the influence of oxygen on the mixture of oil components goes selectively – at first polar and polycyclic components are oxidized, then aromatic ones, and saturated hydrocarbons are oxidized in the last place. Oxidation is accompanied with a number of secondary reactions, among which a special place belongs to the reaction of condensation of oxidized products. And it leads to the formation of heterocyclic compounds with high molecular mass.

Biological action. Chemical composition of oils can also be greatly changed under the influence of specific bacteria.

A. Jobson and others [6] gave the data of influence during 21 days of clean and mixed cultures of bacteria on oil of North-Cantal field, Saskatchewan (Canada); its density increased during this period from 827 to 1046 kg/m³.

The experiment data show that biodegradation goes in the following way: n-alkanes, isoprenoid alkanes, cycloalkanes and aromatic compounds [5, 6, 12].

R. Biramzhe and M. Bestuzhev [4] contend that biological actor of oil transformation is limited with only specific cases: during the given process only chemical composition is changed, but not the structure of oil molecules, for example-three-cycled naphthenes are not formed from monocycled ones, etc.

Literary review made possible to do the analysis of main mechanisms of oils degradation, which led to their density increasing at the expense of augmentation of the pitchy-asphaltene components part. And in the case of the light hydrocarbon migration and washing out the water-soluble ones and biodegradation this increasing possesses relative character, because the common quantity of pitchy-asphaltene matters in oil remains constant at decreasing the hydrocarbons common part.

The aim of this study is to determine the geological, geochemical, and hypergene conditions that control the formation, transformation, and spatial distribution of heavy oils in the major petroleum-bearing regions of Ukraine, and to identify the key degradation and oxidation processes responsible for their evolution.

Materials and Methods. *Source Materials and Study Objects.* Samples of oils from the Semenivka (Crimea), Bohdanivka (DDD), and Kokhanivka (Precarpathian) fields were analyzed to identify degradation mechanisms and conditions of heavy oil formation.

Extraction and Preparation of n-Alkanes. n-Alkanes were isolated using a urea complexation method, allowing selective extraction of straight-chain hydrocarbons.

Chromatographic Analysis. Flame-ionization detection was used with the following settings: evaporator 350°C, detector 300°C, program 60°C → 5°C/min → 320°C (20 min hold), nitrogen carrier gas (60 mL/min), two packed SE-30/INZ-600 columns. Identification was based on retention time correlations with standard mixtures.

Laboratory Modeling of Hypergene Processes. Model experiments involved contacting n-alkane mixtures with aqueous SO_4^{2-} , $\text{SO}_4^{2-} + \text{S}^{2-}$, S^{2-} , and elemental sulfur at 40°C for 300 days under anoxic conditions. Ion concentrations: $\text{SO}_4^{2-} = 200 \text{ g/dm}^3$, $\text{S}^{2-} = 10 \text{ g/dm}^3$.

IR Spectroscopy. IR spectra were recorded to detect oxidation products. Significant absorption bands occurred at 1560–1620 cm^{-1} (oxidized groups), 1660–1680 cm^{-1} (quinoid structures), and 1700–1740 cm^{-1} (esters). Strongest effects occurred with joint $\text{SO}_4^{2-} + \text{S}^{2-}$ systems, confirming polysulfide formation.

Results were compared with natural chromatograms, depth, sulfur content, gas saturation, and alkane distribution maxima to evaluate biodegradation, degassing, leaching, and sulfate oxidation roles in heavy-oil formation.

Results and discussion. In Ukraine the fields of heavy oils are located in Dnieper-Donets depression (DDD), the Precarpathians and in the Crimea. The data of investigations of their physical-chemical parameters, the regularities of distribution and conditions of their bedding are given in the works [7, 9, 14]. By the results of these works the following regularities can be singled out:

- in DDD the pools of heavy oils are spread mainly in Middle Carboniferous deposits, the exception is Reshetnyaky field (Jurassic, 530 m);
- in the Precarpathians the main pools of heavy oils are concentrated in Jurassic deposits, the exception is Pavlivka field (Devonian, 960 m);
- heavy oils of the Crimea are met only in Miocene deposits of the Kerch peninsula.

The range of the bedding depths of heavy oils is wide enough: from 100 m (Voykove field, the Crimea) to 4137 m (Kulychykhyne field, DDD). Practically a half (48 %) of the known fields is bedded at depth to 2000 m – these are the pools of the Kerch peninsula, of the Outer zone of Precarpathian deep, and also the separate pools of the Inner zone of the same deep and DDD.

Gas saturation for heavy oils is not high, and for 62 % of the fields does not exceed 50 m^3/m^3 .

Except the establishing of the common regularities of spreading we studied physical-chemical parameters, component composition, fractional content (table) and distribution of n-alkanes of heavy oils, which belong to the different oil-and-gas-bearing regions of Ukraine, are at different depths and vary among themselves by density and sulphur content [1].

N-alkanes were extracted from oil by the method of complex-forming with carbamide with the following studying on chromatograph: flame-ionized detector, temperature of evaporator -350°C temperature of detector - 30°C, programming of thermostat - 60°C - 5°C/min - 320°C - 20 min - 320°C, gas-bearer nitrogen (the velocity of current - 60 ml/min), two packed columns - 10 % SE-30 on INZ-600. Qualitative identification of the chromatogram peaks was done by the graph of dependence of the n-alkanes time of retention (mixture: C₈, C₁₀, C₁₂, C₁₅, C₁₆, C₁₉, C₂₄) upon the number of atoms of carbon in carboniferous skeleton.

In DDD we studied oils of Bogdanivka field. They belong to different oil-and-gas-bearing horizons and varies among themselves by meanings of density and sulphur content. Their chromatograms are shown in fig. 1. In fig. 2 the chromatograms of the n-alkanes distribution of Semenivka field (the Crimea) and Kokhanivka one (the Precarpathians) are given. On Semenivka field oils belong to two oil-and-gas-bearing horizons.

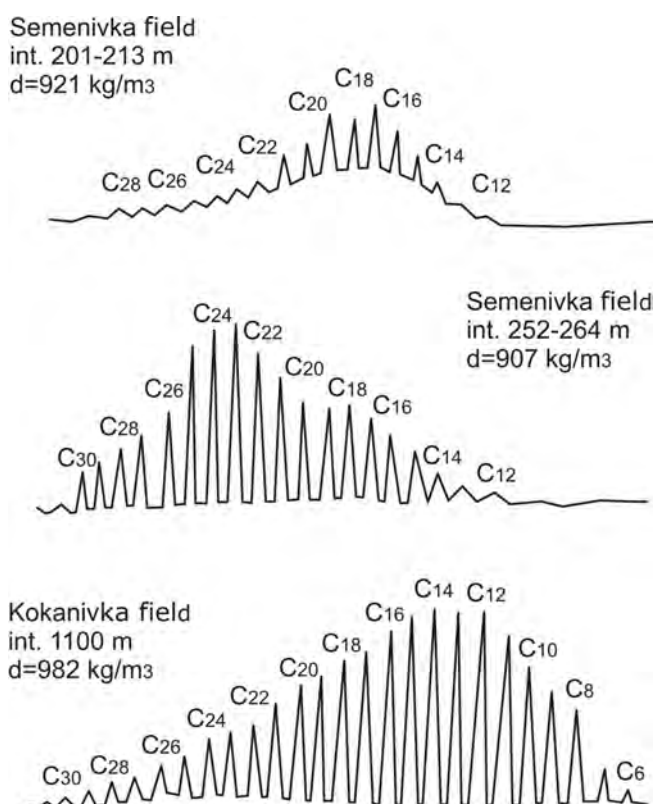


Fig. 1. Chromatograms of the degraded oils of Semenivka and Kokhanivka fields
Semenivka int. 201-213 m, $d = 921 \text{ kg/m}^3$; Semenivka int. 252-264 m, $d = 906,6 \text{ kg/m}^3$; Kokhanivka
int. 1100 m, $d = 982 \text{ kg/m}^3$

The analysis of the n-alkanes distribution in oils of Semenivka field and their fractional content (table 1) shows that they are strongly degraded. Taking into consideration a small depth of bedding of the investigated oils and low content of sulphur in them it is possible to state, that during their transformation the processes of biodegradation and degassing of the field prevail (gas saturation is $2,4 \text{ m}^3/\text{m}^3$). Besides these factors the influence of oxygen of the free air is also significant, because the field, which is situated nearer to the surface, has higher density, and maximum of the n-alkanes distribution is displaced in the direction of hydrocarbons with a longer carboniferous skeleton (fig. 1).

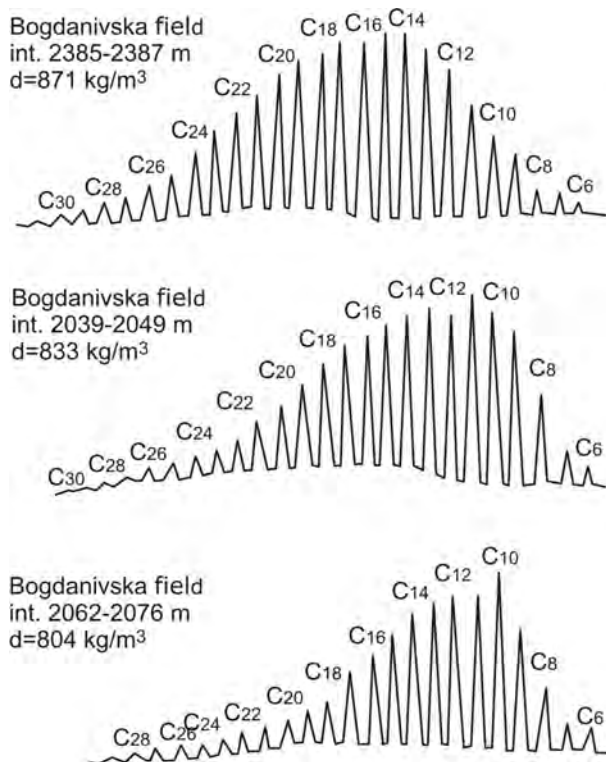


Fig. 2. Chromatograms of the degraded oils of Bogdanivka field in DDD
 Bogdanivka int. 2385-2387 m, d = 871 kg/m³; Bogdanivka int. 2039-2049 m, d = 833 kg/m³;
 Bogdanivka int. 2062-2076 m, d = 804 kg/m³

Table 1

Physical-chemical parametres of the investigated oils

Field name	Age	Bedding depth, m	Density, kg/m ³	Potential content of the boiling away fractions, %				Component composition, weight %			
				200°C	250°C	300°C	350°C	paraffin	sulphur	pitches	asphaltenes
Semenivka (the Crimea)	Karagan IV group of strata	201-214	921,3	-	1	30	53	0,24	0,16	16,1	traces
		252-264	906,6	1	17	39	56	0,73	0,16	15,5	traces
Bogdanivka (DDD)	C ₂	2385-2387	871,5	28	38	49	74	0,70	0,82	11,5	2,0
	-"	2039-2049	833,3	35	52	69	82	1,67	0,10	2,1	traces
	-"	2062-2076	804,6	54	70	81	90	0,55	0,05	1,4	traces
Kochanivka (the Precarpathians)	urassic	1100	982,0	6	18	30	36	1,62	6,13	23,0	17,5

Oils of Bogdanivka and Kokhanivka fields are bedded much deeper and have high sulphur content. It makes possible to state that in this case the process of sulphate oxidation plays an important role. It is proved by the fact that with increasing of sulphur content in oils the density also increases (table 1), the part of light components decreases, maximum of the n-alkanes distribution is displaced in the direction of hydrocarbons with a longer carboniferons skeleton (fig. 2).

During studying the process of oil degradation because of sulphate oxidation we made a number of laboratory investigations with different forms of sulphur. The mixture of n-alkanes was studied. This mixture without air contacted during 300 days at temperature 40°C with the solutions that contained SO_4^{2-} in one case; in the second – $\text{SO}_4^{2-} + \text{S}^{2-}$; in the third – S^{2-} ; in the fourth – S (elementary sulphur). The solutions were prepared using formational water with the ions content (mg/cm³): $C_{\text{Ca}^{2+}} = 118,65$; $C_{\text{Mg}^{2+}} = 28,80$; $C_{\text{Cl}^-} = 8,86$; $C_{\text{HCO}_3^-} = 482,04$; for SO_4^{2-} and S^{2-} we fixed concentration (g/dm³): $C_{\text{SO}_4^{2-}} = 200$, and $C_{\text{S}^{2-}} = 10$.

During the investigations we obtained the following results:

1) On IR-spectra of the products of oxidation of the n-alkanes mixture with sulphate-ion (fig. 3, b) the increasing is shown in comparison with the initial mixture (fig. 3, a) of the stripes of absorbtion 1560, 1580, 1620, 1710 cm⁻¹.

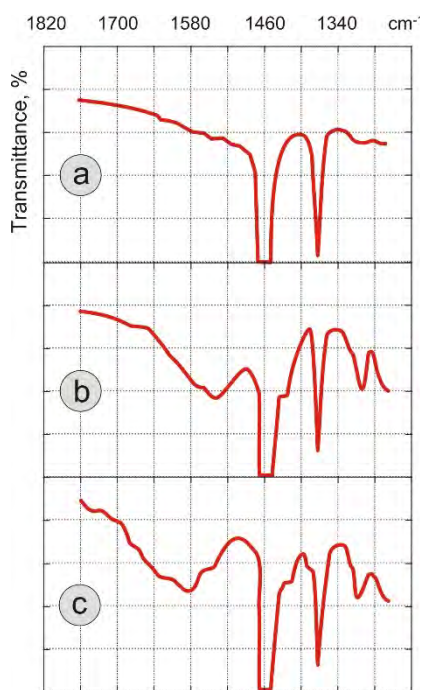
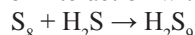


Fig. 3. IR-spectra of the n-alkanes mixture
a) initial; b) oxidation with SO_4^{2-} ion; c) oxidation of SO_4^{2-} ions in presence of S^{2-}

2) Joint presence of ions SO_4^{2-} and S^{2-} leads to the essential change of the interaction character in the system sulphate water-hydrocarbons. On IR-spectra the increasing of the stripes of absorbtion 1560, 1580, 1620, 1660-1680, 1700-1720, 1740 cm⁻¹ (fig. 3, c) is observed in comparison with the initial one. And in the given case the stripes 1660-1680 cm⁻¹ are shown more intensively, that corresponds to the chinoid structures, and additionally the stripe 1740 cm⁻¹ appears, that indicates to the presence of complex ethers.

3) IR-spectra of the hydrocarbons mixture, which contacted with water that contained free sulphur or sulphide-ion, retained without changes. This result lets to content that sulphur and sulphide-ion do not take part in the oxidation process independently, they only catalize this process. It is proved by the data by W.Toland [13], who states that sulphate-ion oxidizes hydrocarbons more rapidly in the presence of H_2S .

So on the base of experimental and literary data it is possible to state, that the main role of hydrogen sulphide is in the reaction of interaction with sulphur [5, 10]:



During this reaction polysulphides are formed, which are stronger oxydizers than sulphate-ion. It hastens and deepens the process of hydrocarbons degradation.

BIBLIOGRAPHY

1. Абрютіна Н.М., Абушаєва В.В., Ареф'єв О.А. та ін. Сучасні методи дослідження нафти (Довідник). Надра. 1984. 220 с.
2. Анісімов Л.А. Умови абіогенного відновлення сульфатів у нафтогазоносних басейнах. 1978. С. 1692–1701.
3. Барс Е.А. Органічна геохімія нафтогазоносних басейнів. Надра, 1981. 300 с.
4. Бірамже Р., Бестужев М. Дослідження фізичних та хімічних перетворень нафт у зв'язку з геологічними умовами. *Органічна геохімія*. Вип. 3. Надра. С. 141–156.
5. Хант Дж. Геохімія та геологія нафти і газу. Світ. 1982. С.447–475.
6. Джобсон А., Кук Ф.Д., Вестлейк Д.В. Мікробне використання сирої нафти. *Прикладна мікробіологія*. 1972. 3(6). С. 1082–1089.
7. Халімов Е.М. Геологія високов'язких нафт СРСР (Довідник). Надра. 1987. 174 с.
8. Кушнір С.В. Термодинамічний аналіз можливостей відновлення іонів SO_4 вуглеводнями нафти. *Геологія та геохімія горючих корисних копалин*. 1992. 3(80). С. 84–88.
9. Шевченко Е.Ф. Габінет Л.М., Карпенко Г.М. та ін. Фізико-хімічні властивості нафти і газу України (Довідник). Надра. 1971. 408 с.
10. Сігеру О. Хімія сіркоорганічних сполук. Хімія. 1975. С. 13–62.
11. Smith H. (1971) Qualitative and quantitative composition of oil. Col. art. *Organic geochemistry*. is.3. 141 s.
12. Tissot B.P. *Petroleum Formation and Occurrence* / B.P. Tissot, D.H. Welte Springer-Verlag. 1978. 720 p.
13. Toland W.G. (1960) Oxidation of organic compounds with aqueous sulfate J.Amer. Chem. Soc. С. 1911–1916.
14. Вітенко В.А. Шевченко Є.Ф., Габінет Л.М. та ін. Фізико-хімічні властивості нафти і газу України/ К.: УкрНДІПТІ. 1981. 212 с.
15. Radkovets N., Kotarba M., Koltun Y., Kowalski A., Kosakowski P., Więclaw D. Origin and migration of oil from the Ukrainian Outer Carpathians to their Mesozoic basement: a case of Lopushna traps. *Geological Quarterly*. 2016. 60 (1). 88–103. <https://doi.org/10.7306/gq.1256>
16. Kotarba M, Więclaw D., Bilkiewicz E., Radkovets N., Koltun Y., Kowalski A, Kmiecik N., Romanowski T. Origin and migration of oil and natural gas in the central part of the Ukrainian outer Carpathians: Geochemical and geological approach. *AAPG Bulletin*. 2020. 104 (6). P. 1323–1356. [tps://archives.datapages.com/data/bulletns/2020/06jun/BLTN18165/bltn18165.html? doi=10.1306%2F01222018165](https://archives.datapages.com/data/bulletns/2020/06jun/BLTN18165/bltn18165.html?doi=10.1306%2F01222018165)
17. Kotarba M., Więclaw D., Bilkiewicz E., Radkovets N., Koltun Y., Kmiecik N., Romanowski T., Kowalski A. Origin of oil and natural gas and influence of secondary processes in the western part of the Ukrainian Outer Carpathians: geochemical and geological approach. *Marine and Petroleum Geology*. 2019. 103. 596– 619. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2019.02.018>

REFERENCES

1. Abriutina, N.M., Abushaieva, V.V., Arefiev, O.A. ta in. (1984). Suchasni metody doslidzhennia nafty (Dovidnyk) Nadra. 220 s.
2. Anisimov, L.A. (1978). Umovy abiohennoho vidnovlennia sulfativ u naftohazonosnykh baseinakh. S. 1692–1701.
3. Bars, E.A. (1981). Orhanichna heokhimiia naftohazonosnykh baseiniv. Nadra. 300 s.
4. Biramzhe, R., Bestuzhev, M. Doslidzhennia fizychnykh ta khimichnykh peretvoren naft u zviazku z heolohichnymi umovamy. Orhanichna heokhimiia. Vyp. 3. Nadra, S. 141–156.
5. Khant, Dzh. (1982). Heokhimiia ta heolohiia nafty i hazu. Svit. S.447–475.
6. Dzhobson, A., Kuk, F.D., Vestleik, D.V. (1972). Mikrobne vykorystannia syroi nafty. *Prykladna mikrobiolohiia*. 3(6). S. 1082–1089.
7. Khalimov, E.M. (1987). Heolohiia vysokoviazkykh naft SRSR (Dovidnyk). Nadra. 174 s.
8. Kushnir, S.V. (1992). Termodynamichni analiz mozhlyvosti vidnovlennia ioniv SO₄ vuhlevodniamy nafty. *Heolohiia ta heokhimiia horiuchykh korysnykh kopalyn*, 3(80). S. 84–88.
9. Shevchenko, E.F. Habinet, L.M., Karpenko, H.M. ta in. (1971). Fyzyko-khimichni vlastyvoli nafty i hazu Ukrainy (Dovidnyk) Nadra, 408 s.
10. Siheru, O. (1975). Khimiia sirkoorhanichnykh spoluk. Khimiia. S. 13–62.
11. Smith, H. (1971) Qualitative and quantitative composition of oil. Col. art. Organic geochemistry. is.3. 141 s.
12. Tissot, B.P. (1978). Petroleum Formation and Occurrence / B.P. Tissot, D.H. Welte Springer-Verlag. 720 r.
13. Toland, W.G. (1960) Oxidation of organic compounds with aqueous sulfate J.Amer. Chem. Soc. S. 1911–1916.
14. Vitenko, V.A. Shevchenko, Ye.F., Habinet, L.M. ta in. (1981). Fyzyko-khimichni vlastyvoli nafty i hazu Ukrainy/ K.: Za red. UkrNIINTI. 212 s.
15. Radkovets, N., Kotarba, M., Koltun, Y., Kowalski, A., Kosakowski, P., Więclaw, D. (2016). Origin and migration of oil from the Ukrainian Outer Carpathians to their Mesozoic basement: a case of Lopushna traps. *Geological Quarterly*. 60 (1). 88–103. <https://doi.org/10.7306/gq.1256>
16. Kotarba, M., Więclaw, D., Bilkiewicz, E., Radkovets, N., Koltun, Y., Kowalski, A., Kmiecik, N., Romanowski, T. (2020). Origin and migration of oil and natural gas in the central part of the Ukrainian outer Carpathians: Geochemical and geological approach. *AAPG Bulletin*. 104 (6). P. 1323–1356. [tps://archives.datapages.com/data/bulletns/2020/06jun/BLTN18165/bltn18165.html? doi=10.1306%2F01222018165](https://archives.datapages.com/data/bulletns/2020/06jun/BLTN18165/bltn18165.html?doi=10.1306%2F01222018165)
17. Kotarba, M., Więclaw, D., Bilkiewicz, E., Radkovets, N., Koltun, Y., Kmiecik, N., Romanowski, T., Kowalski, A. (2019). Origin of oil and natural gas and influence of secondary processes in the western part of the Ukrainian Outer Carpathians: geochemical and geological approach. *Marine and Petroleum Geology*. 103. 596–619. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2019.02.018>

УМОВИ ФОРМУВАННЯ ВАЖКИХ НАФТ ТА ЇХ РОЗПОДІЛ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

Ігор Губич, Ігор Шайнога, Юрій Балог, Валентин Ільчук

Львівський національний університет імені Івана Франка, геологічний факультет, вул. М. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005
e-mail: ihor.hubych@lnu.edu.ua; ihor/shaynoga@lnu.edu.ua; yurii.baloh@lnu.edu.ua; valentyn.ilchuk@lnu.edu.ua

Стаття розглядає умови формування, механізми трансформації та просторовий розподіл важких нафт у головних нафтоносних регіонах України, включаючи Дніпровсько–Донецьку западину, Передкарпаття та Кримський регіон. Метою дослідження є визначення умов накопичення важких

нафт та характеристика їхнього поширення в межах України. Встановлено, що важкі нафти, які характеризуються підвищеною густиною та високим умістом смолисто-асфальтенових компонентів, утворюються переважно внаслідок процесів деградації, що впливають на легкі та середні сорти сирової нафти. Дане дослідження інтегрує польові спостереження, лабораторні експерименти та теоретичні моделі з метою оцінити внесок біодеградації, дегазації, вилугування водорозчинних фракцій та сульфат-індукованого окиснення у формування важких нафт. Особливу увагу приділено ролі сульфатредукції та утворення полісульфідів, які інтенсифікують окиснення вуглеводнів і прискорюють перехід нафтових систем у важкі форми. Хроматографічний аналіз n-алканів із родовищ, що належать до різних геологічних обстановок, демонструє систематичне збіднення на легкі вуглеводні, зміщення максимумів розподілу за кількістю атомів карбону та зростання концентрацій сірковмісних сполук. Експериментальна взаємодія n-алканів із сульфат- та сульфід-іонами за низьких температур (40 °C) моделює природні процеси гіпергенезу та підтверджує каталітичну роль сірководню в інтенсифікації окиснення вуглеводнів через полісульфідні проміжні продукти. Отримані результати підкреслюють регіонально-специфічні чинники контролю формування важких нафт, серед яких глибина залягання, гідрохімічні властивості пластових вод, рівень газонасичення та вплив метеорних вод. Представлений інтегрований аналіз поглиблює розуміння особливостей еволюції важких нафт в українських осадових басейнах і формує концептуальну основу для прогнозування локалізації скупчень в'язких вуглеводнів, що має вирішальне значення для оптимізації стратегії пошуків та розроблення технологій їх ефективного видобутку.

Ключові слова: важкі нафти, біодеградація, сульфатредукція, полісульфіди, окиснення вуглеводнів, розподіл n-алканів, хроматографічний аналіз, Дніпровсько–Донецька западина, Передкарпатський регіон, Кримський регіон.

Дата першого надходження статті до видання: 13.01.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 20.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026

УДК 552.5

DOI <https://doi.org/10.30970/vgl.40.06>

ТРАВЕРТИНОУТВОРЮЮЧІ КОМПЛЕКСИ ПАРКОВИХ АНСАМБЛІВ ЗАХІДНОГО ПОДІЛЛЯ

Уляна Борняк¹ <https://orcid.org/0000-0003-1214-4821>

Марина Рагуліна^{1,2} <https://orcid.org/0000-0001-9286-6693>

Олег Орлов² <https://orcid.org/0000-0003-3684-0864>

¹Львівський національний університет імені Івана Франка, вул. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005

e-mail: u.bornyak@ukr.net

²Державний природознавчий музей НАН України, вул. Театральна, 18, Львів, Україна, 79008

e-mail: funaria@ukr.net; orlov0632306454@gmail.com

Досліджено комплекси травертинових джерел у паркових ансамблях Західного Поділля на прикладі історичного парку при маєтку Орловських (с. Маліївці, Кам'янець-Подільський р-н, Хмельницька обл.) та парку-пам'ятки садово-паркового мистецтва місцевого значення «Кам'янець-Подільський парк» м. Кам'янець-Подільський Хмельницької області. Встановлено, що травертиноутворюючі комплекси в межах паркових ландшафтів Західного Поділля є унікальними антропогенно-природними утвореннями. Зауважимо, що вони не були передбачені первісними проектами, а стали результатом переспрямування потоку джерел одним (Маліївці) чи кількома (Кам'янець-Подільський) вузькими струменями. Внаслідок трансформації потоку води сформувалися рідкісні антропогенні морфотипи флювіальної моделі седиментації – травертинові гребені та труби. Провідну роль у формуванні цих об'єктів відіграє синергія фізико-хімічного осадження та життєдіяльності бактеріо- та бриобіоти. Саме ці організми формують складні структурно-текстурні особливості комплексів – мікробіаліти у ложі потоку та пувльвіноїдні і плексоїдні бриоліти у жолобах та крилах гребенів. Травертиноутворюючі комплекси демонструють високу швидкість самовідновлення та наростання, але водночас залишаються вкрай вразливими до змін гідродинамічного режиму та надмірного рекреаційного тиску. Подальший розвиток інфраструктури (облаштування помостів та екостежок) дозволить впорядкувати логістику відвідувачів, мінімізувати фізичне пошкодження вразливих ділянок, трансформувати ці локації у повноцінні об'єкти геоспадщини та зберегти естетичну цінність об'єктів без обмеження їхньої рекреаційної функції. Таким чином, травертиноутворюючі комплекси в межах паркових ансамблів Західного Поділля формують антропогенно спричинені, проте рідкісні морфотипи, які заслуговують на увагу як моделі сучасного травертиноутворення та мають історичне, сакральне та природоохоронне значення. Через свою вразливість до зовнішніх впливів вони потребують належної охорони та планування заходів збереження. Травертиноутворюючі комплекси додають мальовничості парковим ландшафтам, у яких розташовані, а також є цікавими геотраційними об'єктами екологічного туризму та сприяють популяризації геологічної спадщини регіону.

Ключові слова: жорстководні джерела, пам'ятки природи, геологічна спадщина, охорона природи, екологічний туризм.

Постановка проблеми. Травертиноутворюючі комплекси – це специфічні природні або природно-техногенні системи, де відбувається активне осадження карбонату кальцію

© Борняк У., Рагуліна М., Орлов О., 2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

з водних розчинів, що призводить до формування вапнякового туфу (травертину): карбонатної породи осадового типу, складеної переважно карбонатом кальцію (кальцитом або арагонітом). Траверитноутворюючі комплекси поєднують три взаємопов'язані компоненти: абіотичну – жорстководне джерело, води якого є ресурсом для мінеральної складової, біотичну – живі організми, що сприяють осадженню карбонатів з води як активні поглиначі CO₂ та є органічним матриксом, який визначає структуру породи та біокосну – випродуковані взаємодією а- та біотичної складової вапнякової туфи. Таким чином, травертиноутворюючі джерела (у міжнародній термінології – petrifying springs) являють собою унікальні природні гідрогеологічні системи, генезис яких обумовлений синергічною взаємодією абіотичних (гідрохімічних, термодинамічних) та біотичних (мікро- та фіто-) чинників. Вони репрезентують високоспеціалізоване середовище існування з характерною флорою та фауною, нерідко – за участі рідкісних видів; невеликі розміри, точкове поширення обумовлюють їхню пріоритетність для охорони природних біотопів в Європі згідно Додатку I Оселищної директиви Європейського Союзу (92/43/ЄС) [6]. Світовий досвід дослідження травертиноутворюючих комплексів у межах охоронних і паркових зон фокусується на вивченні цих об'єктів як динамічних природних систем, чий розвиток і сучасний стан є безпосереднім результатом взаємодії природних та антропогенних чинників. Безперечно актуальним та важливим завданням є збереження травертиноутворюючих джерел, особливо тих, що розташовані у популярних урбо- та руральних місцевостях, тобто в умовах перманентної господарської діяльності. Це обумовлює необхідність комплексного дослідження травертиноутворюючих комплексів, що перебувають під антропогенним навантаженням, пошук шляхів захисту їхнього абіо- та біотичного компонента та прийняття природоорієнтованих рішень, покликаних гармонізувати взаємодію людини та природи.

Аналіз останніх досліджень. Травертиноутворюючі джерела та випродуковані ними поклади травертинів (вапнякових туфів) мають дискретне (точкове) поширення у світовому масштабі, становлячи виняткову цінність як об'єкти живої та неживої природи. На теренах України ці природні комплекси територіально тяжіють до Криму та Поділля, проте саме Західноподільське Придністров'я виступає ключовим регіоном концентрації найбільших за об'ємом травертинових комплексів [5]. Вони водночас є осередками підтримки регіонального біорізноманіття та об'єктами геологічної спадщини. Тому в Європі такі утвори охороняються як у контексті збереження природних середовищ існування, так і як цінні геосайти. Зокрема, травертинові геотопи є невід'ємною складовою Глобального геопарку ЮНЕСКО «Швабський Альб» на південному заході Німеччини [7]. Локації з покладами вапнякових туфів нерідко є надзвичайно естетично привабливими, що призводить до надмірного рекреаційного навантаження на них. Проте як поверхневі форми рельєфу, складені нестійкими до механічного руйнування породами, вони характеризуються надзвичайною лабільністю та низькою стійкістю до зовнішніх впливів: навіть мінімальне антропогенне втручання може спричинити незворотну деградацію або навіть цілковите знищення.

Метою нашої роботи було вивчення умов формування та сучасний стан травертиноутворюючих комплексів у межах паркових ландшафтів Західного Поділля, визначення основних загроз та пошук шляхів їхньої мінімізації на прикладі двох популярних туристичних локацій: палацового комплексу Орловських у с. Маліївці та центрального парку м. Кам'янець-Подільський.

Методологія дослідження поєднувала теоретичний та експедиційний (польовий) етапи. Камеральна робота базувалася на аналізі наукової літератури та ретроспективному аналізі: порівняння архівних планів парків із сучасним станом для оцінки динаміки росту або руйнування травертинових комплексів. Польовий етап реалізовано через детальні

маршрутні обстеження у с. Маліївці та м. Кам'янець-Подільський. Для кожного об'єкта фіксували: геоморфологічну приуроченість та просторове положення; антропогенну трансформованість (ступінь природності) витоків і русел; інтенсивність та морфологію туфо-нагромадження; описи та визначення угруповань організмів-туфоутворювачів.

Виклад основного матеріалу. Досліджувані травертиноутворюючі комплекси територіально приурочені до південної частини Хмельницької області в межах Кам'янець-Подільського району. Польові вишукування охоплювали локації у межах двох репрезентативних паркових ансамблів Західного Поділля: територію історичного парку при маєтку Орловських у Маліївцях та частину Центрального парку м. Кам'янець-Подільський (рис. 1).

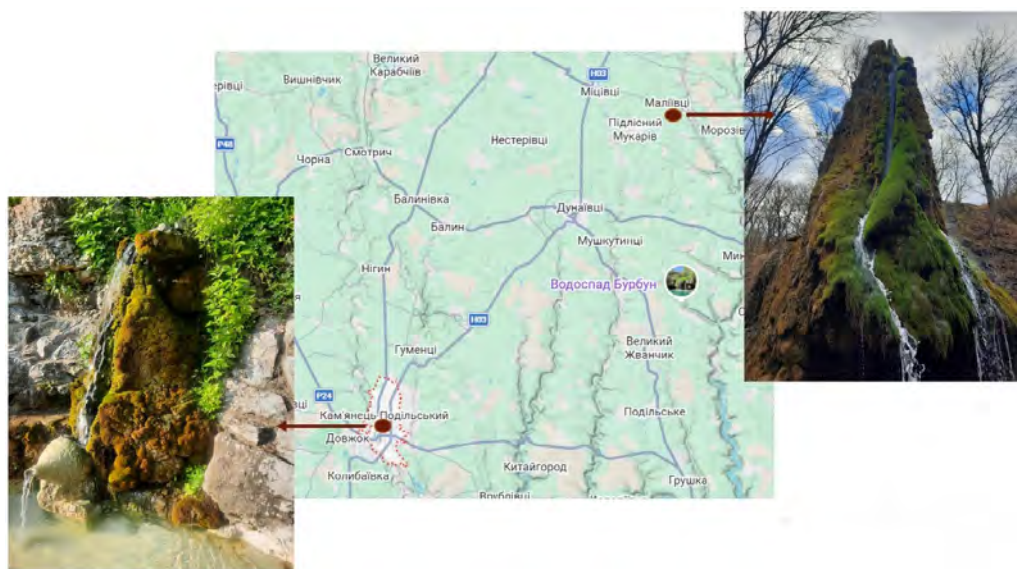


Рис. 1. Карта-схема розташування об'єктів дослідження

На території історичного парку при маєтку Орловських (с. Маліївці, Кам'янець-Подільський р-н, Хмельницька обл.) парковий ландшафт охоплює низку травертинових утворень, що характеризуються морфологічним різноманіттям та варіативністю механізмів формування.

Домінантою паркового ландшафту та унікальним прикладом антропогенно-природного гідрогеологічного комплексу є Малієвський водоспад (рис. 2а). Об'єкт безпосередньо межує з територією пам'ятки садово-паркового мистецтва XVIII ст. – «Малієвським парком», хоча не входить до його меж фактично. Генезис водоспаду має комбінований характер: це штучна гідротехнічна споруда заввишки 18 м, функціонування якої забезпечується підведенням джерельної води через систему труб до вершини природного скального масиву. Спад води відбувається стрімким каскадом по вертикальній стіні. Облаштування водоспаду датоване 1780-ми роками, було ефектним архітектурно-планувальним рішенням під час закладання палацово-паркового ансамблю. Перший опис Малієвського водоспаду знаходимо у краєзнавчому нарисі Олександра Пшездецького (1841): «З тих джерел спадає до саду на 48 стоп високий каскад, краплиста завіса двох печер, видовбаних у скалі з вітварями і фігурами святих» [8].

Малієвецький водоспад репрезентує своєрідну антропогенну відміну туфоутворення – кам'яний жолоб (гребінь) віком понад 200 р., та складений травертинами 2-х генерацій. Генезис цієї морфоструктури пов'язаний із гідротехнічним втручанням кінця XVIII ст. Після технічного виведення джерельної води на край скелі та її переспрямування в єдиний вузький потік розпочався процес інтенсивної лінійної седиментації, що спричинив швидке наростання стінок обабіч струменя, які сформували травертиновий жолоб. Сучасна динаміка туфонагромадження демонструє активне розширення травертинового комплексу, що відбувається переважно за рахунок надбудови стінок жолобу та розростання його латеральних частин – так званих «крил». Цей процес забезпечується постійним зволоженням бічних скатів та життєдіяльністю туфогенної біоти, насамперед – мохоподібних, що виступає фацілітатором осадження карбонатів. Натомість основа водоспаду – скеля, представлена травертинами першої генерації. Вони характеризуються значно вищою щільністю, масивністю, що свідчить про їхнє природне формування у догосподарчий період. Таким чином, сучасний вигляд водоспаду є результатом накладання штучно стимульованого мінералоутворення на давню основу, складену вапняковими туфами іншого морфотипу. В сучасному формоутворенні кам'яного жолоба активну роль відіграють живі організми, головню – ціанобактерії та мохоподібні. Перші вистеляють ложе потоку, утворюючи гладенькі мікробіаліти (строматоліти), другі – стінки та крила жолоба шириною до 2 м., що розходяться в обидва боки від центрального каналу. Бріобіота формує два типи структур: плексоїди, утворені холодновитривалими плетивними формами мохів (*Cratoneuron filicinum* (Hedw.) Spruce, *Palustriella commutata* (Hedw.) Ochyra), *Hygroamblystegium varium* (Hedw.) Mönk.) вибудовують стінки жолоба, тоді як теплолюбні види подушкових мохів (*Didymodon tophaceus* (Brid.) Lisa, *Gymnostomum calcareum* Nees & Hornsch.) формують напівсферичні пульвіоїди, які, зливаючись між собою, виробляють крила жолоба.

Ключовим фактором дестабілізації травертоутворюючого комплексу Малієвецького водоспаду виступає надмірне рекреаційне навантаження, хоча ступінь його впливу на різні елементи комплексу є диференційованим. Найбільшого антропогенного тиску зазнає реліктовий травертиновий масив (скеля), у структурі якого розташований верхній грот – головний об'єкт екскурсійної уваги. Водночас сучасна генерація вапнякових відкладів – травертиновий жолоб – залишається відносно захищеною від прямого механічного пошкодження завдяки специфіці мікрорельєфу та обмеженій фізичній доступності для відвідувачів. Проте функціонування жолоба перебуває у прямій залежності від стабільності гідродинамічного режиму джерела. Будь-які маніпуляції у верхів'ї водотоку (реконструкція каптажних споруд, поглиблення чи розширення русла) можуть критично змінити характер седиментації. Такі опосередковані впливи здатні порушити баланс надходження мінералізованих розчинів, що призведе до зупинки росту жолоба або його ерозійної деградації. Важливим є надання Малієвецькому водоспаду статусу природно-заповідного об'єкту – геологічної пам'ятки природи місцевого значення та долучення її до території вже існуючого пам'ятки садово-паркового мистецтва «Малієвецький парк».

Локальним, проте морфологічно виразним об'єктом дослідження є малий травертиновий жолоб завдовжки 0,6 м (рис. 2б), розташований безпосередньо в межах ансамблю «Малієвецький парк». Це утворення сформувалось в точці гідрологічного розвантаження каптованого джерела, що живить штучну водойму – «Лебедине озеро». Попри незначні метричні параметри, цей об'єкт має високу наукову цінність як приклад інтенсивної сучасної седиментації в умовах спрямованого водного потоку. Цей об'єкт репрезентує модель швидкого туфонагромадження, де стабільний гідродинамічний режим, геохімічні параметри джерельних вод, кліматичні та біологічні чинники сприяють формуванню чітко окресленої лінійної морфоструктури – прямоспадного травертинового гребеню.

Швидке наростання бортів жолоба, сформованих туфотвірною біотою призводить до змикання бортів та формування унікального закритого каналу (кам'яної труби) зовнішній діаметр якої становить понад 0,3 м. У процесах сучасного літогенезу та морфогенезу цього травертиноутворюючого комплексу провідна роль належить біогенному чиннику, представленому консорціумом ціанобактерій та бріобіоти. Їхня синергічна дія визначає не лише швидкість карбонатної седиментації, а й специфіку мікрорельєфу об'єкта. Як і на попередньому об'єкті, тут ложе потоку вистелене щільними плівками ціанобактерій. Шляхом біотично індукованого осадження карбонатів вони формують гладенькі, шаруваті мікробіаліти, що забезпечують стабільність центрального каналу. Вертикальні стінки жолоба вибудовують холодновитривалі плетивні форми мохів. Вони утворюють пухкий, але стійкий сітчастий каркас (плексоїд), який поступово петрифікується, фіксуючи лінійну форму русла. Периферійні частини комплексу – формуються за рахунок теплолюбних подушкових форм мохів.

Нижче по схилу формується віялоподібний травертиновий комплекс, водне живлення якого забезпечується переливом із «Лебединого озера» та скидними водами з водозабірної споруди (рис. 2в). У верхній, відкритій для інсоляції частині схилу, водний потік розтікається, формуючи систему загат – біогерм. Ці утворення структурують русло у вигляді каскаду мілких ізольованих мікрководоєм неправильної напівокруглої конфігурації. Матеріал біогерм представлений петрифікованими рештками бактерій, мікрородостей та мохоподібних. У структурі досліджуваного потоку вони репрезентовані головню бріолітами – мінералізованими колоніями мохоподібних родини *Amblystegiaceae*.

Отже, біотично активну зону на досліджуваному потоці формують характерні для жорстководних джерел мохоподібні, за домінуванням плетивних форм. У затіненій частині, нижче за течією потоку зникають колонії живих мохів та бріоліти, які ними формуються. Натомість ложе потоку вистелене численними карбонатними стяжіннями округлої, овальної та видовженої морфології, які репрезентують ініціальні (початкові) стадії травертиноутворення. Ці біомінеральні агрегати формуються в умовах змінного освітлення під наметом дерев, що обумовлює стрибкоподібну активність фотосинтезуючих мікроорганізмів з 2-ма піками – навесні та восени, до та після появи листя. Це обумовлює сезонне превалювання біогенного осадження над хомогенним і навпаки, та спричинює концентричну шаруватість стяжінь.

Найвища ступінь експозиційної атрактивності віялоподібного каскаду у Маліївському парку спостерігається у весняний період. Відсутність щільного трав'яного покриття забезпечує оптимальну оглядову доступність морфоструктур і безперешкодний підхід до травертинового комплексу. Влітку рекомендована обережна розчистка каскаду від заростей непритаманної травертиновим джерелам рудеральної рослинності, зокрема – від кропиви (*Urtica dioica* L.), яглиці (*Aegopodium podagraria* L.) та самосіву дерев, насамперед – клена американського (*Acer negundo* L.). Окрім візуального маскування, забур'яненість створює перешкоди для повноцінного функціонування туфотвірної мікро- та бріобіоти, головню – через затінення. Також доцільним є встановлення поручнів – обмежувачів обабіч каскаду. Облаштований належним чином каскад може стати додатковим декоративним елементом парку, тоді як зараз він є практично «невидимим» для відвідувачів.

Кам'янець-Подільські травертиноутворюючі комплекси розташовані на території парку-пам'ятки садово-паркового мистецтва місцевого значення «Кам'янець-Подільський парк» м. Кам'янець-Подільський Хмельницької області (з 2014 р. – «Героїв Євромайдану»). Туфові обростання тут є зовсім молодими та почали формуватися нещодавно, після реконструкції штучного гроту «Орел», що завершилась у 2018 р., з яким вони творять єдину ландшафтну композицію (рис. 3а). Гідрологічне розвантаження джерел здійснюється

через систему вузьких труб, інтегрованих у конструкцію підпірної стінки. Три основні витоки формують вертикальні травертинові жолоби заввишки 1,5–2,0 м із латеральним розростанням «крил» до 1,5 м та внутрішнім діаметром седиментаційного каналу 0,05–0,15 м. За морфогенетичними ознаками об'єкти ідентичні комплексу на Малівецькому водоспаді: периферійні частини («крила») вибудовані пульвіноідними бріолітами, вертикальні стінки – плексоїдними, а ложе потоку вкрито слизуватими плівками ціанобактерій.



а



б



в

Рис. 2. Травертиноутворюючі комплекси на території історичного парку при мастку Орловських (с. Маліївці, Хмельницька обл.)



а



б

Рис. 3. Травертиноутворюючі комплекси парку «Героїв Євромайдану» (а) та у каньйоні річки Смотрич (б) у м. Кам'янець-Подільський.

До проведення реконструкції спостерігалася дифузна фільтрація води крізь кам'яну кладку, що зумовлювало формування аморфних наростів без чітко вираженої руслової структури. Згідно місцевої легенди, городяни називали їх «сльозами полонянок», які у давнину були поневолені турками та воліли залишити по собі пам'ять у рідному краю [3]. Достеменно невідомо, коли було загосподаровано джерело, на якому облаштовано «Грот орла», але можемо припускати, що це відбулось в часи закладання міського парку на пустирі біля скелястих берегів каньйону річки Смотрич близько 1868 р. [4]. Сучасна морфологія жолобів є результатом переходу від безладного просочування до концентрованого лінійного потоку, що значно прискорило процеси карбонатної мінералізації. У процесі проведення реконструкційних робіт травертини попередньої генерації зазнали часткової деструкції з метою відновлення цілісності та функціональності підпірної стінки. Ще один невеличкий жолоб довжиною 0,8 м. із замкненим каналом у формі труби, сформувався безпосередньо на огорожувальній конструкції водоприймача, що забезпечує акумуляцію джерельних вод перед їхнім надходженням до чаші «Лебединого озера».

Значний, проте наразі недооцінений геотуристичний потенціал зосереджений у каньйоні річки Смотрич, де сформувалися травертинові навіси на крутосхилах каньйону внаслідок каскадного спаду джерельних та озерних вод парку з висоти, що перевищує 25 м (рис. 3б). Навіси розташовані у кілька ярусів у верхній частині стіни каньйону. В їхньому формуванні активну участь беруть бере туфотвірна біота. Окрім бактерій та мохоподібних, у покриві каскаду поширені нитчасті зелені та жовто-зелені водорості, що створюють

своєрідну «торочку» по краю навісів. Також до процесу туфоутворення залучені трав'яні рослини, що оселяються на полицях скельної стінки: мітлиця повзуча (*Agrostis stolonifera* L.) та тонконіг звичайний (*Poa trivialis* L.). Їхні стебла та корені, якими стікає вода, виступають органічним матриксом, на якому відкладаються травертинові структури, що приймають форму бурулькоподібних натікань. В цілому, альго-, бріо- та фітоагрегування навісів у парку «Героїв Майдану» є характерним для травертинових масивів урвистих берегів Дністровського каньйону [3]. Вони репрезентують рідкісний туфогенний біотоп, пріоритетний для охорони.

Процес інтенсивного гідродинамічного впливу призвів до формування біля підніжжя водоспаду специфічної ерозійної чаші (котла) діаметром близько 10 м. Її дно заповнене акумулятивним матеріалом: уламками корінних порід та фрагментами сучасних травертинових наростів, що свідчить про активну динаміку руйнування та одночасного перевідкладення мінеральної речовини. Розвиток інфраструктури, зокрема облаштування екологічних стежок та оглядових помостів для експонування цього травертинового комплексу, дозволить перетворити «дику» частину парку на повноцінний геотуристичний об'єкт. Це не лише підвищить рекреаційну привабливість локації, а й забезпечить контрольований доступ відвідувачів, мінімізуючи антропогенний тиск на вразливі ділянки травертиноутворюючих комплексів.

Висновки та перспективи подальшого дослідження. Підсумовуючи результати дослідження, можна констатувати, що травертиноутворюючі комплекси в межах паркових ансамблів Західного Поділля є унікальними антропогенно-природними утвореннями. Їх поява не була закладена у первісні ландшафтні проекти, а стала результатом переспрямування потоку джерел одним (Маліівці) чи кількома (Кам'янець-Подільський) вузькими струменями. У процесі переспрямування джерельних вод сформувалися рідкісні антропогенні морфотипи флювіальної моделі седиментації – травертинові гребені та труби [1]. Провідну роль у формуванні цих об'єктів відіграє синергія фізико-хімічного осадження та функціонування фотосинтезуючої біоти (бактерій, водоростей, мохоподібних та судинних рослин). Саме вони формують складні структурно-текстурні особливості комплексів – від щільних мікробіалітів у ложі потоку до пухлятих та плексоїдних бріолітів у «крилах» жолобі та бурулькоподібних натікань під полицями скель.

Травертиноутворюючі комплекси демонструють високу швидкість самовідновлення та наростання, але водночас залишаються вкрай вразливими до змін гідродинамічного режиму та надмірного рекреаційного тиску. Подальший розвиток інфраструктури (облаштування помостів та екостежок) дозволить впорядкувати логістику відвідувачів, мінімізувати фізичне пошкодження вразливих ділянок, трансформувати ці локації у повноцінні об'єкти геоспадщини та зберегти естетичну цінність об'єктів без обмеження їхньої рекреаційної функції.

Таким чином, травертиноутворюючі комплекси в межах паркових ансамблів Західного Поділля формують антропогенно спричинені, проте рідкісні морфотипи, які заслуговують на увагу як моделі сучасного травертиноутворення (м. Кам'янець-Подільський), або ж мають історичне, сакральне та природоохоронне значення (Малієвецький водоспад). Вони додають мальовничості парковим комплексам, у яких розташовані, а також є цікавими геотраційними об'єктами екологічного туризму та сприяють популяризації геологічної спадщини регіону.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Борняк У., Рагуліна М., Орлов О. Травертинові гребені заходу України – цінні пам’ятки живої та неживої природи. *Вісник Львівського університету. Серія геологічна*. 2025. Вип. 39. С. 61–68. DOI <https://doi.org/10.30970/vgl.39.05>
2. Дідух Я.П., Чорней, І.І. Буджак В.В. та ін. Рідкісний туфогенний біотоп у басейні Дністра. *Український ботанічний журнал*. 2018. № 2. 149–159. DOI <https://doi.org/10.15407/ukrbotj75.02.149>
3. Галецька О.В. Мандрівка за легендами Кам’янецького каньйону. Путівник. 2017. 40 с.
4. Парк-пам’ятка садово-паркового мистецтва “Кам’янець-Подільський парк”. URL: <https://www.npptovtry.org.ua/p023>
5. Свинко Й.М., Волік О.В. Травертинові скелі Середнього Придністров’я: Посібник-путівник. Тернопіль: Навчальна книга - Богдан, 2004. 44 с.
6. Lyons M. D., Kelly D. L. Monitoring guidelines for the assessment of petrifying springs in Ireland. *Irish Wildlife Manuals*. 2016. № 94. 73 p.
7. Megerle, H.E. Calcerous Tufa as Invaluable Geotopes Endangered by (Over-)Tourism: A Case Study in the UNESCO Global Geopark Swabian Alb, Germany. *Geosciences*. 2021, 11, 198. <https://doi.org/10.3390/geosciences11050198>
8. Przewdziecki A. Podole, Wolyn, Ukraina. Obrazy miejsc I czasow. Wilno, 1841. Т.ІІ. 157 s.

REFERENCES

1. Bornyak, U., Ragulina, M., Orlov, O. (2026). Travertynovi hrebni zakhodu Ukrayiny – tsinni pam"yatky zhyvoyi ta nezhyvoyi pryrody [Travertine ridges of western Ukraine – valuable monuments of living and non-living nature]. *Visnyk L'vivs'koho universytetu. Seriya heolohichna*. Vyp. 39. S. 61–68. DOI <https://doi.org/10.30970/vgl.39.05> [in Ukrainian].
2. Didukh, YA.P., I.I. Chorney, V.V., Budzhak, Vashenyak, Yu.A., Korzhyk, V.P., Rozenblyt, Yu.V., Tokaryuk, A.I., Mykhaylyuk, T.I. (2018). Ridkisnyy tufohennyy biotop u baseyni Dnistra [Rare tufa forming habitat in the Dnister River basin]. *Ukrayins'kyi botanichnyy zhurnal*. № 2. 149–159. DOI <https://doi.org/10.15407/ukrbotj75.02.149> [in Ukrainian].
3. Halets'ka, O.V. (2017). Mandrivka za lehendamy Kam"yanets'koho kan'yonu. Putivnyk. [Journey through the legends of the Kamianets-Podilskiy Canyon. Guidebook]. 40 s. [in Ukrainian].
4. Park-pam"yatka sadovo-parkovoho mystetstva “Kam"yanets'-Podil's'kyi park” [Park-monument of landscape art “Kamyanskyi Park”]. URL: <https://www.npptovtry.org.ua/p023> [in Ukrainian].
5. Svyenko, Y.M., Volik, O.V. (2004). Travertynovi skeli Seredn'oho Prydnistrov'ya: Posibnyk-putivnyk [Travertine rocks of Central Transnistria: Guidebook]. Ternopil': Navchal'na knyha - Bohdan. 44 s. [in Ukrainian].
6. Lyons, M. D., Kelly, D. L. 2016. Monitoring guidelines for the assessment of petrifying springs in Ireland. *Irish Wildlife Manuals*. № 94. 73 p.
7. Megerle, H.E. (2021). Calcerous Tufa as Invaluable Geotopes Endangered by (Over-)Tourism: A Case Study in the UNESCO Global Geopark Swabian Alb, Germany. *Geosciences*. 11, 198. <https://doi.org/10.3390/geosciences11050198>
8. Przewdziecki, A. (1841). Podole, Wolyn, Ukraina. Obrazy miejsc I czasow. Wilno. Т.ІІ. 157 s.

TUFAGENOUS COMPLEXES OF THE PARK ENSEMBLES OF WESTERN PODILLIA

Ulyana Bornyak¹, Marina Ragulina^{1,2}, Oleg Orlov²

*¹Ivan Franko National University of Lviv, 4, Hrushevskoho Str., Lviv, Ukraine, 79005
e-mail: u.bornyak@ukr.net*

*²State Museum of Natural History of NAS of Ukraine, 18, Teatralna Str., Lviv, Ukraine, 79008
e-mail: funaria@ukr.net; orlov0632306454@gmail.com*

The petrifying springs complexes in park ensembles of Western Podillia on the example of the historical park at the Orlovsky's estate (Maliivtsi village, Kamianets-Podilskyi district, Khmelnytskyi region) and the park-monument of landscape art of local importance "Kamianets-Podilskyi Park" in the city of Kamianets-Podilskyi, Khmelnytskyi region were investigated. It was established that tufa-forming complexes within the park landscapes of Western Podillia are unique anthropogenic-natural formations. Note that they were not foreseen by the original projects, but were the result of redirecting the springs flow into one (Malyivtsi village) or several (Kamyanetsia-Podilskyi City) narrow streams. As a result of the transformation of the hydrodynamics of the springs, rare anthropogenic morphotypes of the fluvial sedimentation model were formed – namely calcareous channel and tubes. The leading role in the formation of these objects is played by the synergy of physicochemical deposition and the vital activity of micro- and bryobiota. These organisms form both structural and textural features of the complexes – microbialites in the stream bed and pulvinoid and plexoid bryolites in the walls and slopes of the calcareous channels. The tufa-forming complexes demonstrate a high rate of regeneration and growth, but at the same time remain extremely vulnerable to changes in the hydrodynamic regime and high recreational pressure. Further development of infrastructure (construction of platforms and eco-trails) will allow to streamline visitor logistics, minimize mechanical damage of vulnerable areas, make these locations into integral geoheritage sites, and preserve their aesthetic value without limiting of recreational function. Thus, tufa-forming complexes within the park ensembles of Western Podillia form anthropogenic, but rare models of modern travertine formation and have high historical, sacred and environmental value. Due to their vulnerability to external influences, they require proper protection and planning of conservation measures. The tufa-forming complexes give interesting relief shapes to the park landscapes in which they are located, and are also interesting geo-attractions sites for ecological tourism and contribute to the popularization of the geological heritage of the region of Western Podillia.

Key words: petrifying springs, nature monuments, geological heritage, nature conservation, ecological tourism.

Дата першого надходження статті до видання: 22.01.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 23.03.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026

УДК 551.88:502.64 (477.8)
DOI <https://doi.org/10.30970/vgl.40.07>

ПОДІЄВИ УТВОРЕННЯ МІОЦЕНОВИХ ВІДКЛАДІВ В МЕЖАХ ЗАХІДНИХ ОКОЛИЦЬ ГОЛОГІРСЬКОГО ГОРБОГІР'Я

Лариса Генералова <https://orcid.org/0000-0002-6033-6556>

Тетяна Дворжак <https://orcid.org/0009-0007-6488-3438>

Євген Дворжак <https://orcid.org/0009-0001-2598-6596>

Антон Генералов <https://orcid.org/0000-0002-4221-0415>

Софія Янбашева

*Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. М. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005
e-mail: larysa.heneralova@lnu.edu; dvortanja@gmail.com; jek0706@gmail.com;
Anton.Heneralov@lnu.edu.ua; Sofiia.Yanbasheva@lnu.edu.ua*

Мета досліджень полягала у з'ясуванні особливостей будови баденського розрізу на теренах західних відрогів Гологоро-Кременецького горбогір'я Подільської височини Східно-Європейської платформи та аналізі їх палеогеографічних і палеодинамічних умов утворення. Методологія роботи ґрунтувалася на порівняльному аналізі структурно-текстурних ознак цих відкладів з моделями різних літодинамічних типів фацій літоралі, визначених і описаних на засадах актуалізму в сучасних працях із седиментології. За результатами детального вивчення неогенового розрізу платформних утворень району г. Хом вперше виокремлені подієві літодинамічні (генетичні) типи – темпестити. Ретельне вивчення будови розрізу та структурно-текстурних рис і складу каркасу детритово-уламкових піщаних порід дало підстави виокремити текстурні інтервали сталої послідовності секвенції та зачислити відклади до цього літодинамічного типу. Серед індикаторних ознак секвенцій темпеститів (як епізодичного типу утворень) необхідно назвати такі: наявність базальної ерозійної поверхні, яка простежена у підшві шарів секвенцій, розвиток підводноосувних структур, поширення у псамітових секвенціях інтервалу горбистої скісної шаруватості, розмивання верхніх елементів секвенції та амальгамація (злиття) секвенцій з переважанням в них різнозернистих псамітів інтервалу хаммоки. Темпестити розділені фоновими відкладами карбонатних пелітово-дрібнопсамітово-алевритових порід зі слідами біотурбації. Виразні потужні інтервали градаційної та горбистої скісної шаруватості є показником для віднесення темпеститів до проксимального типу. Наявність підводноосувних різноорієнтованих деформацій вказує на енергетичний вплив землетрусів під час формування темпеститів. Вони, вірогідно, були ініційовані активною палеогеографічною і палеогеодинамічною перебудовою Зовнішньокарпатського флішового басейну при трансформації океану Тетис.

Ключові слова: Східноєвропейська платформа, баденський регіоярус, геологія, стратиграфія, осадконагромадження, подієви утворення, палеогеодинаміка.

Постановка проблеми. Вивчення неогенових відкладів західних теренів України активно продовжується дослідниками. З'являються праці по ідентифікації породних та палеонтологічних угруповань, фацій, уточненню структурної позиції їх седиментації та характеристикі палеогеографічних і палеогеодинамічних умов формування. Пошарове вивчення стратиграфічних розрізів баденію на південному заході Східноєвропейської



платформи дало змогу виявити літодинамічні типи баденських відкладів подієво-епізодичного механізму формування, які залягають серед нашарувань фонових порід.

Аналіз попередніх досліджень. Стратиграфічне вивчення неогенових, зокрема тортонських (баденських) відкладів, які поширені в межах Волино-Подільської плити, розпочато з праць Д. Штура (1859), М.П. Барбота де Марні (1867), М. Ломницького (1873, 1887) та ін. Найповніший огляд стратиграфії і палеофаціальних умов формування палеогенових і неогенових відкладів південно-західної околиці Східноєвропейської платформи та зовнішньої зони Передкарпатського крайового прогину виконав Л. М. Кудрін [4 і література там]. З середини 90-х років ХХ ст. у західних регіонах України розгортаються роботи з геологічного довивчення раніше закартованих площ (ГДП-200) та роботи зі створення державної геологічної карти масштабу 1:200 000 на засадах багатофункціональної базової геологічної основи для господарювання країни і планування та проведення усіх геологічних робіт [1, 4]. Праці по вивченню неогенових відкладів [1, 4, 10, 11], орієнтовані на розгляд питань історії геологічного розвитку території досліджень, у зазначений час використовують дані аналізу потужностей, літо- і біофаціальні матеріали і не виділяють літодинамічні типи, які є складовими різних фацій, та інформативні для з'ясування гідродинамічних і палеогеографічних умов осадоагромадження.

Мета досліджень полягає у з'ясуванні особливостей будови баденського розрізу на теренах західних відрогів Гологір, виокремленні епізодичних літодинамічних (генетичних) типів та аналізі їх палеогеографічних і палеодинамічних умов осадоагромадження.

Фактичний матеріал та методологія досліджень. Район досліджень розташований на території Давидівської сільської територіальної громади Львівського району Львівської області, поблизу села Гринів, у західних відрогів Гологір (Гологіро-Кременецьке структурно-денудаційного горбогір'я, яке є частиною геоморфологічної під'області Подільської височини), на південному схилі гори Хом (440 м), через яку проходить ГСВ (Головний Європейський Вододіл) [5]. За положенням у розрізі неогенові породи на теренах зазначеного регіону залягають на мергелях сеноман(?)–маастрихтського ярусу (львівська світа) і належать до баденського регіоарусу середнього міоцену (нижньобаденська опільська світа та середньобаденська тираська світа).

Методологія дослідження ґрунтувалася на порівняльному аналізі структурно-текстурних ознак цих відкладів з моделями типів фацій літоралі, визначених в сучасних працях із седиментології [2, 6, 7, 9]. У публікаціях європейських та американських дослідників у середині ХХ ст. під час розгляду палеогеографічних, палеоекологічних та седиментологічних умов формування осадових порід різних регіонів і сучасних океанів протиставляються нормально-осадові та аперіодичні катастрофічні утворення. Для нормально-осадових порід, які відтворюють сталі фонові умови седиментації протягом певного тривалого часу, Г. Энзеле і А. Зейлахер використовують термін “періодити”, для аперіодичних (в тім числі, для штормових відкладів – темпеститів) порід уживають термін “подієві утворення” (або епізодичні). Штормові відклади неодноразово описані у спеціальній літературі. Їхня присутність зафіксована на різних стратиграфічних рівнях в осадових басейнах фанерозою і протерозою. Концепцію впливу штормів уперше використано для давніх відкладів D. K. Hobday та H. G. Reading. Вперше термін “темпестити” запропонований D. V. Ager 1974 р. [2, 6, 7, 9].

Темпестити є результатом прибережної штормової седиментації, характерною та однією з головних діагностичних ознак, для яких є горбиста скісна шаруватість (hummocky cross stratification (HCS)). Її розглядають як одну із форм середньо- і крупномасштабної скісної шаруватості, під час утворення якої відкладення осаду відбувалося на нерівну розмиту поверхню дна. Унаслідок цього поверхні нашарування змінюють

напрямок і кут падіння (переважно до 10–15°, зрідка більше) і в тривимірному варіанті мають вигляд незакономірного поєднання горбистих виступів із западинами амплітудою до 10–50 см і площею близько 1–5 м.

Літодинамічні фації темпеститів виявлені й детально описані у багатьох розрізах осадових товщ мілкого шельфу давніх морів. Розроблені критерії розрізнення їх від подібних відкладів ритмічного типу шаруватості ґрунтуються зокрема на використанні сталої послідовності текстурних інтервалів (знизу догори): L (Lag) – градаційної шаруватості; H – комбінація горизонтальної й лінзоподібної, перехрестної (*hummocky zone*) шаруватості; F – горизонтальної (*flat laminae*) шаруватості; X – скісної (іноді скісної перехресної) шаруватості (*cross laminae*); M – пелітоморфної гомогенної породи з текстурами хвилювих брижів та біотурбаціями [6, 7, 9]

Отримані результати, їх обговорення. Маршрут починається навпроти каплиці Зіслання Святого Духа, розташованої біля траси між селами Відники та Шпильчина (рис. 1).

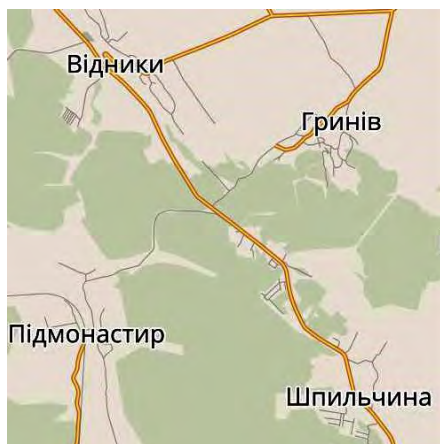


Рис. 1. Розташування досліджуваної території поблизу села Гринів

По старій ґрунтовій дорозі можна дістатись вершини. В кілометрі від початку маршруту, у лісі розташоване каптоване джерело з чистою питною водою, яке приурочене до поверхні незгідності маастрихтських мергелів з лімонізованими включеннями органічних рештків і нижньобаденських піскуватих глин з жовнами літотамній (перший літотамнівський горизонт). Їх перекривають миколаївські верстви кварцових пісковиків.

Вище по ходу маршруту, у відслоненнях і залишках старого вапнякового кар'єру можна спостерігати стратиграфічний розріз нижньобаденських нараївських верств. Вони нараощують миколаївські пісковики з фауністичними залишками, типовими для цього стратону, які можна спостерігати у полотні дороги. Розрізи різноцементованих піщанистих вапняків, які доступні для вивчення у північній стінці кар'єру, дають змогу скласти враження про фітофосилії – скам'янілі жовна (були) різного розміру (1–8 см) та онколіти (дрібні, до 5–7 мм у діаметрі, кулясті, з концентричною будовою всередині), які утворені червоними водоростями роду *Lithotamnium*. Ці породи належать нараївським органогенним фітоморфним вапнякам (другого літотамнівського горизонту), які мають потужність від перших метрів до 8–9 м. Крім літостратиграфічних одиниць, на цій локації можна ознайомитись з локальним розривним порушенням, яке добре проявлено в результаті накладання на структуру сучасних динамічних процесів (рис. 2). На нараївських верствах зафіксовані

малопотужні лисиницькі кварцово-глауконітові пісковики з лінзами і прошарками органо-генно-детритових порід. Вони перекриті кривчицькими верствами (перші десятки сантиметрів) органогенних вапняків з великою кількістю залишків *Ervilia pusila Phil* (ервілієвий горизонт) (рис. 3). Вапняки бронюють вододіл та надають йому вигляд структурного плато (рис. 4). На них із стратиграфічною незгідністю залягають кварцові і глауконіт-кварцові пісковики підгірських верств та / або кайзервальдських шарів. Ці верстви за даними останніх геологокартувальних і тематичних досліджень належать середньобаденському під'ярусу [2].



Рис. 2. Відслонення у старому кар'єрі нараївських відкладів, насичених буллами та детритом літотамній (перший літотамнієвий горизонт)



Рис. 3. Вододіл хребта Хом, броньований ервілієвим горизонтом



Рис. 4. Фрагмент порід ервілієвого горизонту.

У відслоненнях пісковиків, які залягають на ервілієвому горизонті, відмічено ерозійний контакт з поверхнями розмиву між названими літостратиграфічними одиницями (рис. 5). Крім того, ерозійні контакти часто відмічаються між літостратиграфічними секвенціями пісковиків, які приймають участь в будові товщі (рис. 6).



Рис. 5. Фрагмент розмитого ервілієвого горизонту та окремі дрібні черепашки (хаотично орієнтовані)



Рис. 6. Ерозійний контакт секвенції пісковиків у кайзервальдських шарах, близько межі з кривчицькими верствами.



Рис. 7. Підводносувна складка у різнозернистих кварцових пісковиках в долішній частині секвенції розрізу кайзервальдських шарів



Рис. 8. Підводносувна концентрична складка в підшві шару секвенції пісковику

Окремі секвенції (потужністю від 0,5–2,5 м) розрізу представлені такими інтервалами. Нижній інтервал секвенції характеризується лінзовидним розвитком несортованої різнорозмірної детрито-піщаної породи з уламками літокластів, гравійних кварцових зерен та черепашкових бентосних організмів. В долішній частині розрізу пісковики наявні підводносувні структури (зокрема дисгармонійні складки з осадового матеріалу пластичного субстрату), які можуть свідчити про синседиментаційні деформації щойно відкладеного пластичного осаду (рис. 7–9).

Середній інтервал – це різнозернистий суттєво кварцовий пісковики з рештками літотамнієвих водоростей та детритом молюсків. Порода погано сортована, містить окатані грубі псамітові та гравійні зерна. Переважає градаційна та/або масивна шаруватість, яка підкреслюється несортованими хаотичними різнопсамітовими структурами пісковику, часто з пудинговими включеннями різновеликих гальок або цілих мушель і детритових уламків черепашок (рис. 9). Окремі прошарки мають скісну шаруватість. Поодинокі слабо обкатані стулки молюсків розташовані під великим кутом до поверхонь нашарування, а в скупченнях дрібних лінз – мушлі орієнтовані опуклою поверхнею до підшви шару.

Верхній інтервал – неясношаруватий дрібно-середньозернистий пісковики з дрібними кулястими рештками літотамнієвих водоростей. При латеральному вивченні розрізів виявлено, що до інтервалу тяжіють псаміти з горбисто-скісною стратифікацією (хаммоки) (рис. 11).

Вище секвенцій із зазначеною стадійністю інтервалів відмічено фоніві відклади дрібнопсаміто-алевритові, часто із суттєвою домішкою пелітового карбонатного матеріалу, породи з тонкою горизонтальною лямінацією або масивною текстурою, які порушені субвертикальними слідами біотурбації.



Рис. 9. Синседиментаційні підводноосувні деформаційні структури у шарі пісковика



Рис. 10. Фрагмент поблизу ерозійної поверхні пісковика. Інтервал з елементами градаційної шаруватості (L або вН) з дрібною галькою та детритом черепашок

Верхні інтервали секвенцій темпеститів здебільшого відсутні внаслідок їх розмивання, яке призвело до накладення (амальгамації) інтервалів горбистої скісної шаруватості.

Амальгамація секвенцій, з переважанням в них різнозернистих псамітів значної потужності (до 0,3–1,5 м) з численним детритом літотамній, які притаманні інтервалу хаммоки, та збільшення їх потужності є характерними рисами проксимального типу темпеститів.

Розрізу вивчених відслонень притаманне нашарування низки таких секвенцій із збереження головних ознак описаних елементів. Верхня та нижня поверхня окремих секвенцій часто нерівна до хвилястої. У підшві секвенцій заглиблені форми підводного розмивання заповнені скупченням органогенного детриту, пелітового матеріалу



Рис. 11. Інтервал горбисто-скісної стратифікації з декількома поверхнями розмиву другого порядку, які розділяють окремі прошарки, у кайзервальдських пісковиках



Рис. 12. Фонові дрібнозерністі пісковики, алевроліти і пеліти

й гравійних зерен кварцу. В нижній частині розрізу середньобаденських відкладів, між секвенціями псамітів з литодинамічними типами темпеститів добре зберіглись фоніві відклади, представлені ясно-сірими карбонатними дрібнозернисто-алевритовими та пеліто-дрібнозернисто-алевритовими з домішками детриту, гомогенними або тонко горизонтальними породами з вертикальними слідами біотурбації (рис. 12).

Будову вивченого фрагменту середньобаденських утворень за індикаційними структурно-текстурними ознаками можна віднести до літодинамічного (генетичного) типу темпеститів (штормових відкладів). Серед ознак привертає увагу наявність базальної ерозійної поверхні, яка простежена у підшві шарів усіх секвенцій. Її наявність обумовила мінливість потужності шарів, їх лінзоподібну форму та розподіл уламкового матеріалу з акумуляцією великих класталітів у заглибленнях виорювання.

Відсутність певних текстур у покрівельних елементах секвенцій, можна пояснити розмиванням верхніх частин шарів під час чергового шторму.

Важливим аргументом штормового походження відкладів є типова форма нашарування у відслоненні, де переважають лінзовидні шари з різноспрямованою стратифікацією і невитриманою потужністю. Така форма нашарування відповідає типовому елементу будови секвенцій темпеститів, який називають горбистою скісною шаруватістю (hummocky cross-stratification – HCS).

Третій аргумент, виявлений у досліджуваному районі, ілюструє наявність підводноосувних деформацій. Розмір складок в діаметрі може досягати 1,2–1,5 м, довжина таких структур змінюється від перших метрів до десятка метрів. Орієнтування осей складок за простяганням порід та впоперек дає змогу припустити, що, крім штормових утворень, при вивченні району можна спостерігати синдеформаційні структури м'яких (неконсолідованих) осадових [8, 9], формування яких ініційовано землетрусами з афтершоками. Вірогідно, що утворення темпеститів і сейсмів відбувалось близько одночасно. Виникнення і угруповання темпеститів відбувається швидко: протягом декількох годин/днів/місяців під дією штормових хвиль. Їх триггерні механізми є різними. Одним з них можуть виступати землетруси. Вони, вочевидь, були наслідками нестабільної сейсмічної обстановки в регіоні, якій знаходився в полі впливу формування Карпатської насувної споруди та приєднання до неї структур Зовнішньокарпатського флішового басейну [3], у контексті перебудови океану Тетис в Паратетис.

Розвиток різнозернистих, в тому числі грубозернистих псамітів з пудинговими структурами та наявність підводноосувних деформацій, дає підстави для віднесення темпеститів до проксимальних утворень, які формувались поблизу берега. В тривалі періоди затихання штормів нагромаджуються тонко- та дрібнозернисті осади і створюються сприятливі умови для життєдіяльності донних організмів у міоценовому Сарматському морі Паратетису.

Наукова новизна роботи. Використання актуалістичних седиментаційних методик вивчення розрізів неогенових відкладів Східноєвропейської платформи сприятиме деталізації щодо розпізнавання типів різної генетичної і динамічної природи та використання набутої інформації для моделювання умов їх формування.

Практичне значення. Різнозернисті неогенові псаміти зазначеного регіону розглядаються як перспективні пастки на вуглеводні та цінна будівельна сировина.

Висновки. Відслонення регіону дослідження дає змогу ознайомитись з інформативним розрізом літостратиграфічних одиниць нижньо-середньобаденського віку на схилах платоподібних пасм Гологірського горбогір'я.

Літофаціальні та літодинамічні типи утворень розрізу та артефакти динамічних подій палеогеографічної і геологічної історії відтворюють сукупність процесів формування осадових.

Використана класифікація, в основу якої покладено типізацію седиментаційних потоків, які їх породжують. Така діагностика літодинамічних типів містить дані про пряме генетичне значення, як результат певних седиментаційних процесів, які входили до складу фаціальних обстановок.

Ретельне вивчення будови розрізу та структурно-текстурних рис і складу каркасу детритово-уламкових піщаних порід дало підстави виокремити текстурні інтервали сталої послідовності секвенції та зачислити відклади до літодинамічного типу темпеститів. Серед індикаторних ознак секвенцій темпеститів необхідно назвати такі:

- циклічність розрізу середньобаденських відкладів;
- наявність базальної ерозійної поверхні, яка простежена у підшві шарів усіх секвенцій;

- наявність підводноосувних структур у нижніх інтервалах секвенцій;
- розвиток у різнозернистих несортованих псамітових секвенціях інтервалу горбистої скісної шаруватості;
- ерозія верхніх елементів секвенцій;
- амальгамація (злиття) секвенцій з переважанням в них різнозернистих псамітів інтервала хаммоки;
- наявність фонових відкладів, представлених пелітово-дрібнопсамітово-алевритовими породами зі слідами біотурбації.

Виразні потужні інтервали градаційної та горбистої скісної шаруватості є показником для віднесення темпеститів до проксимального типу.

Темпестити в розрізах подільських Гологір виділені вперше.

Перспективи подальших досліджень неогенових відкладів мають бути орієнтовані на вивчення літодинамічних типів за структурно-текстурними і речовинними ознаками, що розширює пізнавальні аспекти на палеогеографічні і палеодинамічні обстановки осади-конакопичення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Андреева-Григорович А. С., Ващенко В. О., Гнилко О. М., Трофимович Н. А. Стратиграфія неогенових відкладів Українських Карпат та Передкарпаття. *Тектоніка і стратиграфія*, 2011. 38, 67–77.
2. Генералова Л., Хом'як Л. Штормові відклади баденського моря у розрізі гори Кортумової (Розточчя). *Вісн. Львів. ун-ту. Сер. геол.* 2019. Вип. 33. С. 3–19
3. Гнилко О., Гнилко С., Кулянда М., Марченко Р. Тектоно-седиментаційна еволюція передової частини насувної споруди Українських Карпат. *Геологія і геохімія горючих копалин*. 2021. №1–2 (183–184). С. 45–59. <https://doi.org/10.15407/ggcm2021.01-02.045>.
4. Державна геологічна карта України масштабу 1:200 000 аркуші М-34-ХVIII (Рава-Руська), М-35-ХIII (Червоноград), М-35-ХIX (Львів) / Л.С. Герасимов, С.В. Чалий, А.А. Плотніков, І.І. Герасимова, Г.В. Полкунова, І.О. Костик, Т. Л. Євтушко; [ред. В.Я. Великанов, Б.Д. Возгрін Б.Д.]. К. : Міністерство екології та природних ресурсів України, державна геологічна служба, Національна акціонерна компанія “Надра України”, Дочернє підприємство “Західукргеологія”, Львівська геологрозвідувальна експедиція, 2004. 118 с.
5. Шушняк В. М., Савка Г.С., Шандра Ю.Я. Головний європейський вододіл в Україні та його туристичне значення. *Географія та туризм*. 2020. Вип. 55. С. 3–12.
6. Einsele G. Sedimentary Basins: evolution, facies and sediment budget. Berlin : Springer–Verlag, 1992. 615 p.
7. Dott R. H., Bourgeois J. Hummocky stratification: significance of its variable bedding sequences. *Geological Society of America*. 1982. Vol. 93. P. 663–680.
8. Roy S.K., Banerjee S. Soft Sediment Deformation Structures in the Andaman Flysch Group, Andaman Basin: Evidence for Palaeogene Seismic Activity in the Island Arc. *Berita Sedimentologi. Indonessian Journal of Sedimentary Geology*. 2016. vol.35. No 1. P.55–74. DOI: <https://doi.org/10.51835/bsed.2016.35.1.103>
9. Sedimentary environments and facies. Ed. By H.G.Reading. Blackwell Scientific, 1986. 615 p.
10. Wysocka A. Clastic Badenian deposits and sedimentary environments of the Roztocze Hills across the Polish-Ukrainian border. *Acta Geologica Polonica*. 2002. Vol. 52(4). P. 535–561.
11. Wysocka A., Radwański A., Górka M. Mykolaiv Sands in Opole Minor and beyond: Sedimentary features and biotic content of Middle Miocene (Badenian) sand shoals of Western Ukraine. *Geological Quarterly*. 2012. Vol. 56. P. 475–492. DOI: 10.7306/gq.1034

REFERENCES

1. Andrieieva-Hryhorovych, A. S., Vashchenko, V. O., Hnylko, O. M., Trofymovych, N. A. (2011). Stratyhrafii neohenovykh vidkladiv Ukrainykykh Karpat ta Peredkarpattia [Stratigraphy of Neogene deposits of the Ukrainian Carpathians and Ciscarpathia]. *Tektonika i stratyhrafii*. 38. pp. 67–77. [in Ukrainian].
2. Heneralova, L. Khomyak, L. (2019). Shtormovi vidklady badenskoho moria u rozrizi hory Kortumovoi (Roztochchia) [Storm bedsets of the Baden Sea in the section of the mountain Kortumovoyi (Roztochchya)]. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Serii heolohichna*. 33. pp. 3–19. [in Ukrainian].
3. Hnylko, O., Hnylko, S., Kulyanda, M., Marchenko, R. (2021). Tektono-sedymentsatsiina evoliutsiia peredovoi chastyny nasuvnoi sporudy Ukrainykykh Karpat [Tectonic-sedimentary evolution of the frontal part of the Ukrainian Carpathian nappe structure] *Heolohiia i heokhimiia horiuchykh kopalyn*. 1–2 (183–184), pp. 45–59 <https://doi.org/10.15407/ggcm2021.01-02.045> [in Ukrainian].
4. Herasymov, L. S., Chalyy, S. V., Plotnikov, A. A., Herasymova, I. I., Polkunova, H. V., Kostyk, I. O., Yevtushko, T. L. (2004). Derzhavna heolohichna karta Ukrayiny masshtabu 1:200 000 arkushi M-34-KHVIII (Rava-Rus'ka), M-35-XIII (Chervonohrad), M-35-XIX (L'viv). red. V. Ya. Velikanov, B. D. Vozgrin. Kyiv: Ministerstvo ekolohiyi ta pryrodnykh resursiv Ukrayiny, derzhavna heolohichna sluzhba, Natsional'na aktsionerna kompaniya "Nadra Ukrayiny", Docherne pidpryyemstvo "Zakhidukrheolohiya", L'vivs'ka heolohrozviduval'na ekspedytsiya. 118p. [in Ukrainian].
5. Shushniak, V. M., Savka, H.S., Shandra, Yu.Ya. (2020). Holovnyi yevropeyskyi vododil v Ukraini ta yoho turystychno znachennia [The main European watershed in Ukraine and its tourist importance]. *Heohrafiia ta turyzm*. 55. 3–12. [in Ukrainian].
6. Einsele, G. (1992). *Sedimentary Basins: evolution, facies and sediment budget*. Berlin : Springer-Verlag. 615 p.
7. Dott, R. H., Bourgeois, J. (1982). Hummocky stratification: significance of its variable bedding sequences. *Geological Society of America*. 93. pp. 663–680.
8. Roy, S.K., Banerjee, S. (2016). Soft Sediment Deformation Structures in the Andaman Flysch Group, Andaman Basin: Evidence for Palaeogene Seismic Activity in the Island Arc. *Berita Sedimentologi. Indonesia Journal of Sedimentary Geology*. 35(1). Pp.55–74. DOI: <https://doi.org/10.51835/bsed.2016.35.1.103>
9. *Sedimentary environments and facies* (1986) Ed. By H.G.Reading. Blackwell Scientific. 615 p.
10. Wysocka, A. (2002). Clastic Badenian deposits and sedimentary environments of the Roztocze Hills across the Polish-Ukrainian border. *Acta Geologica Polonica*. 52 (4). pp. 535–561.
11. Wysocka, A., Radwański, A., Górka, M. (2012). Mykolaiv Sands in Opole Minor and beyond: Sedimentary features and biotic content of Middle Miocene (Badenian) sand shoals of Western Ukraine. *Geological Quarterly*. 56. pp. 475–492. DOI: 10.7306/gq.1034

EVENTUAL FORMATIONS OF MIOCENE DEPOSITS WITHIN THE WESTERN VICINITIES OF THE HOLOGIRSKI GORBOGIR MOUNTAINS

**Larysa Heneralova, Tetyana Dvorzhak, Evhen Dvorzhak,
Anton Heneralov, Sofiia Yanbasheva**

*Ivan Franko National University of Lviv, 4, Hrushevskoho Str., Lviv, Ukraine, 79005
e-mail: larysa.heneralova@lnu.edu.ua; dvortanja@gmail.com; jek0706@gmail.com;
Anton.Heneralov@lnu.edu.ua; Sofiia.Yanbasheva@lnu.edu.ua*

The purpose of the research was to clarify the sedimentological and structural features of the Baden section in the areas of the western spurs of the Hologora-Kremenetskyi Uplands of the Podolsk Upland of the East European Platform, and to analyze their paleogeographic and paleodynamic conditions of formation. The methodology of the work was based on a comparative analysis of the structural and textural features of these deposits with models of various lithodynamic types of littoral facies, defined and described on the basis of actualism in modern works on sedimentology. Based on the results of a detailed study of the Neogene section of platform formations in the Khom region, event-related lithodynamic (genetic) types – tempestites – were identified for the first time. A elaborate study of the architecture of the section and the structural-textural features and composition of the skeleton of detrital-clastic sandstones gave grounds to distinguish textural intervals of the stable sequence and to assign the deposits to this lithodynamic type of tempestites. Among the indicator signs of tempestite sequences (as an episodic type of formations), the following should be mentioned: the presence of a basal erosion surface, which is traced in the sole of the layers of the sequences, the development of submarine landslide structures, the spread of the interval of hilly oblique layering in the psamite sequences, the erosion of the upper elements of the sequence and the amalgamation (fusion) of sequences with a predominance of heterogeneous psamite in them. Tempestites are separated by background deposits of carbonate pelitic-fine psammite-siltstone rocks with traces of bioturbation. Distinct powerful intervals of gradational and hilly oblique layering are an indicator for attributing tempestites to the proximal type. The presence of submarine shear deformations of different orientations indicates the energetic influence of earthquakes during the formation of tempestites. They were probably initiated by active geodynamic restructuring of the Outer Carpathian Flysch Basin and transformation of the Tethys Ocean.

Key words: East European Platform, Badenian Regiostage, geology, stratigraphy, event formations, paleogeodynamics.

Дата першого надходження статті до видання: 15.01.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 20.03.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026

УДК 552.57.08:551.763:551.432](477:292.452)(06)
DOI <https://doi.org/10.30970/vgl.40.08>

ЛІТОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВМІСНИХ ПОРІД ТА ПРОСТОРОВЕ РОЗТАШУВАННЯ ПІЗНЬОКРЕЙДОВОЇ ЕКЗОТИКИ У РОЗРІЗАХ СТРИЙСЬКОЇ СВІТИ СКИБОВОЇ ЗОНИ КАРПАТ

Олександр Костюк <https://orcid.org/0000-0003-2218-1757>
Олег Коба <https://orcid.org/0009-0003-1372-2475>

*Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. М. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005
e-mail: oleksandr.kostyuk@lnu.edu.ua; oleh.koba@lnu.edu.ua*

На основі літолого-петрографічних досліджень пізньокрейдових утворень Скибової зони Українських Карпат схарактеризовано головні літологічні типи порід які містять уламки вугілля та встановлено характер їхнього поширення. Вуглевмісні породи вивчені з низки відслонень на березі р. Дністер (с. Стрільки), р. Яблунька (с. Стрільбичі) та кар'єру «Св'ятослав» (с. Коростів Сколівського району). У роботі розкрито генетичну сутність процесів і факторів осадконагромадження та перетворення порід, встановлення зв'язку між літологічними особливостями та формами залягання верхньокрейдових відкладів.

Детально методологічно вивчено шліфи та описано склад вмісних порід з пізньокрейдових відкладів стрийської світи.

У вивчених нами природних відслоненнях літологічний склад порід – це головню пісковики грубо-середньозернисті, темно-сірі, сірі, на свіжому сколі з коричнюватим або зеленкуватим відтінком, сильно карбонатні, подекуди трапляються лусочки мусковіту і біотиту. У нижніх частинах розрізу трапляється гравеліти жовтуватого кольору, масивний з поодинокими дрібними (до 2×4 мм) включеннями чорного вугілля і неорганічної породи білого, сірого і темно-сірого кольорів. У гравелітах (цемент) карбонатний, а неорганічні його включення не реагують з кислотою.

Виявлені і досліджені нами уламки вугілля трапляються у відслоненнях серед товщ грубо- і середньозернистих кварцових карбонатних пісковиків, у стрийській світі пізньої крейди на березі р. Дністер (с. Стрільки), р. Яблунька (с. Стрільбичі) та кар'єру «Св'ятослав» (с. Коростів Сколівського району). Розподілення їх в розрізі нерівномірне. В одних місцях це поодинокі уламки різних розмірів, в інших – масові скупчення кусків різних розмірів, зцементованих пісковиком у своєрідні вугільні брекчії та конгломерати. Кількість уламків вугілля у гравелітах значно менша, ніж у пісковиках. Їх розміри змінюються від одиниць міліметрів до десятків сантиметрів.

Ступінь обкатаності уламків вугілля прямопропорційна їхнім розмірам. Це зумовлено місцезнаходженням їх на шляху перенесення від області денудації до області седиментації, відстанню між ними та масою уламків вугілля. Малі слабомінералізовані кусочки досить легкі і тому переносились переважно у зваженому стані поверхневими або середніми шарами потоку води і мало контактували з його дном, не обкатувались. Великі перекачувались по дну транспортувального середовища (водного потоку) та переносились разом з вугіллям в басейн седиментації, тобто із зернами кварцу і карбонатів.

Ключові слова: фліш, Скибова зона Українських Карпат, пісковики, вапняки, глини, мергелі, гранулометрична сортованість порід.



Постановка проблеми. Існує багато різноманітних методів дослідження осадових порід. Вони спрямовані на встановлення у породі кількісного співвідношення зерен (уламків) різних розмірів; вивчення їхнього мінерального складу, послідовності утворення рудних мінералів тощо.

У районі дослідження відслонюються відклади флішової формації крейдового та палеогенового віку, представлені пісковиками, алевролітами, аргілітами, гравелітами, вапняками та мергелями, що об'єднані у світи – однорідні в літологічному і віковому відношеннях комплекси. У структурно-тектонічному аспекті територія досліджень охоплює Скибову зону Українських Карпат [5, 6].

Ця структурно-тектонічна одиниця характеризується розвитком ритмічного сіроколірного верхньокрейдого-палеогенового флішу. Породи, що складають різні стратиграфічні одиниці, відрізняються за фізичними та хімічними особливостями. Вони перекриваються потужною товщею алохтону, який свідчить про відклади центральної, можливо південної частини геосинкліналі, імовірно зірвані з їхнього корінного залягання і перенесені на значні відстані.

Аналіз досліджень. У роботі представлений аспект однієї з найбільш актуальних проблем літології: розкриття генетичної суті процесів і факторів осадконакопичення та перетворення порід, встановлення зв'язку між літологічними особливостями крейдових відкладів та поширенням кам'яновугільної екзотики. У 1972 р. А. С. Пилипчуком в межах Бориславсько-Покутської зони Передкарпатського прогину та Скибової зони Українських Карпат виділено 10 типів розрізів. На території дослідження представлений Прутський тип розрізу верхньокрейдових відкладів, в межах якого Т. Рудницька та Н. Ціж (2012) виділяють такі літофації (знизу догори): глинисто-мергельно-піщана, піщана, піщано-алевро-глиниста, гравелітів.

Весь комплекс осадових порід району досліджень загалом за рекомендаціями В. Г. Чернова (1984) поділяють на піщанисту і глинисту (аргілітову) літологічні серії. До першої належать відклади ямненської, нижньокросненської, середньострийської, середньоменілітової світи. До другої – нижньо- і верхньоменілітова, верхньокросненська підсвіти та головнинська світа. В свою чергу, кожна літологічна серія поділена на групи сильно-, слабовапнистих і практично невапнистих відкладів. До першої групи належать головнинська, стрийська, кросненська, бистрицька та середньоменілітова світи. До другої групи належить манявська світа. Третя група утворена ямненською, нижньо- і верхньоменілітовими світами. Також тут виділяють групи світ, породи яких збагачені глауконітом (нижньоменілітова) та реліктовою органічною речовиною (менілітова), вміст якої досягає 30%

Відклади стрийської світи, які відслонюються в долині р. Опір в межах скиби Параска представлені гравелітами, гравійними конгломератами, пісковиками, алевролітами, мергелями подекуди вапняками та аргілітами. Конгломерати і гравеліти, зазвичай, залягають у нижній частині ритму. Вони часто утворюють тонкі лінзочки і малопотужні прошарки в окремих шарах пісковиків. У розрізі представлені два типи псефітів: гравеліти та гравійні конгломерати.

Гравеліти, переважають серед псефітів. В. Г. Чернов (1984) простежив малопотужні прошарки крупнозернистих, гравелітів уздовж р. Рибниця. У відкладах стрийської світи він спостерігав нерівномірностерністі гравеліти з питомим об'ємом гравійних зерен до 20–35%. Заповнювачем у цих породах є різнозернистий піскови́к. Цемент вапняковий, базального типу. В цементі трапляються залишки літотамнієвих водоростей, моховаток і форамініфер. В складі гравелітів переважають уламки зелених сланців і пісковиків (місцями до 95%) рідше кварцу і кварцитів. Це, слабкосортвані, зазвичай з поступовими переходами у грубозерністі пісковики або такі, що містять подекуди дрібну гальку (до

3 см). Гравеліти складені з уламків жильного кварцу, кварцитів, світло-сірих кристалічних і органогенно-уламкових вапняків, аргілітів, пісковиків, мергелів, кварц-серицитових сланців, яшм та вугілля.

Гравійні конгломерати поширені обмеженіше. В розрізі стрийської світи у лівому борту долини в усті р. Орява у товщі дрібно ритмічного флішу трапляються прошарки дрібнозернистих гравійних конгломератів. Вони рівномірнотзернисті і мають сірий колір. Потужність прошарків до 0,5 м. Заповнювачем є середньозернистий пісковик, цемент кальцитовий з зернами глауконіту, типу заповнення пор. У складі гравелітів трапляються уламки кварцу, кварцитів, гранітоїдів, польових шпатів, чорних аргілітів.

Л. В. Лінецька (1958) вважає, що склад крупноуламкового матеріалу у стрийській світі на північному сході і південному заході Скибової зони є різний. Вона припускає, що для північного заходу можливими є два джерела зносу: південно-східний і північно-західний, а для центральної частини лише один – це внутрішній, південний борт геосинкліналі. Вивчення і співставлення літологічного і гранулометричного складу порід стрийської світи дали підставу цим дослідникам вважати, що у центральній частині Передкарпаття море Карпатської геосинкліналі з'єднувалось з морським басейном Львівсько-Люблінської верхньокрейдяної мульди. Д. К. Баліцкій (1963) вивчаючи крупно уламкові породи стрийської світи дійшов висновку, що теригенний матеріал привносився в басейн седиментації з віддалених ділянок живлення які часом могли відповідати як Східно-Європейській платформі так і іншим більш віддаленим територіям. Зазначимо, що у конгломератах і пісковиках трапляються уламки вугілля, особливо у південно-західних скибах. Палінологічні дослідження зразків, що відібрані в кар'єрах поблизу м. Сколе і с. Зелеманки свідчать про кам'яовугільний вік цих порід, а наявність вугільних включень кам'яовугільного віку вказують на те, що у фундаменті Берегових Карпат містились відклади продуктивного карбону. Теж, уламки вугілля могли надходити у басейн седиментації з південного заходу з області існуючої на той час кордільєри. Хоча малоімовірно, що уламковий матеріал поступав з північного сходу, оскільки в північно-східних скибах зони кількість уламків зменшується, а в південно-західних – вони трапляються досить часто.

Пісковики і алевроліти, які складають всі стратиграфічні рівні світи, за складом є ідентичними. Водночас у розрізі трапляються пісковики двох типів: пісковики з алевролітами і власне пісковики (В. Г. Чернов, 1984).

Пісковики з алевролітами переважають у розрізі. Це сірі, голубувато-сірі, різнозернисті, дуже щільні, сильно карбонатні породи. Для них характерною є шарлупувата текстура і надмір тонких прожилків кальциту, які перетинаються. Зрідка по тріщинах видно тонкі прожилки піриту.

Пісковики сірі, у ділянках інтенсивного звітрювання жовтувато-сірі, пухкі, слюдисті. Потужність прошарків таких пісковиків досягає 2–3 м. На площинах нашарування нижньої грубозернистої частини потужних пластів спостерігаються накопичення вуглефікованого детриту. На нижній поверхні прошарків розвинені численні механогліфи. Верхні межі прошарків неоднорідні внаслідок поступового заміщення пісковика аргілітом. Головною складовою пісковиків і аргілітів є зерна кварцу. Часто трапляються уламки польових шпатів, глауконіту, кальциту, лусок мусковіту, а також зерен піриту, марказиту, часом уламків кременю, органогенних вапняків і глинисто-серицитових порід.

Аргіліти стрийської світи сірі і темно-сірі. Вони складені гідрослюдиною тонко-лускуватою масою у поєднанні з пелітоморфним кальцитом.

Мергелі трапляються у верхній частині світи, і зазвичай, приурочені до тектонічних насувів чи розривних структур.

Хоча проблемі літогенезу відкладів стрийської світи присвячено низку наукових праць [1–18], все ж з літолого-мінералогічної точки зору, зокрема, причин та особливостей

просторового поширення кам'яновугільної екзотики у відкладах стрийської світи, її вивчено недостатньо.

Мета і методика досліджень. Проведені нами дослідження ставили за мету комплексне вивчення відібраних нами проб для вирішення проблем діагностики та ідентифікації особливостей літологічного складу вмісних товщ у яких трапляються уламки вугілля у відкладах верхньої крейди Скибової зони Українських Карпат.

Мабуть одним з найважливіших лабораторних методів дослідження уламкових порід, як пісковиків і алевролітів так і гравелітів є їхнє вивчення у шліфах. Для дослідження порід у шліфах нами використано схему опису уламкової породи у шліфах запропоновану В. Т. Фроловим з доповненнями [13].

Розмір уламкових зерен, який визначається за допомогою цього методу, є важливим для характеристики детальності уламкової структури порід. Визначення ж мінерального складу у шліфах і погортів доповнює опис цих порід. Зазначимо, що окрема увага приділяється вивченню як мінеральних й структурних характеристик цементу, так і вторинних змін у мінералах, які відображали вплив процесів літогенезу на формування уламкової породи [12, 13].

Структура уламкової породи у шліфах вивчається шляхом проведення підрахунку розмірів 300–500 уламкових зерен за результатами чого визначають як переважаючі фракції так і фракції у яких є обмаль таких зерен. Переважаюча фракція є основою для характеристики сортування породи, а значить і зони седиментації морського басейну у якій утворилася порода, тоді як морфоскопічна оцінка зерен, відповідно, є важливою для встановлення джерел зносу. Все це формує уявлення дослідника про те у який спосіб утворилася уламкова порода. Мінеральний склад несе інформацію щодо джерел походження: привнесені в басейн седиментації чи новоутворені на місці мінерали. Нарешті, коли визначається склад цементу, то на основі цього робиться висновок про умови які існували у басейні седиментації під час формування уламкової породи. Встановлення структурного типу цементу допомагає визначити стадію утворення породи, а вторинні зміни у мінералах, відповідно, – особливості протікання процесів літогенезу.

Проведені нами літолого-петрографічні дослідження пізньокрейдових утворень Скибової зони Українських Карпат мали на меті детально і всебічно вивчити головні літологічні типи порід котрі містять уламки вугілля та встановити характер їхнього поширення. Отримані нові літологічні дані при вивченні шліфів удосконалюють уявлення щодо джерел формування кам'яновугільної екзотики у крейдових товщах та можуть використовуватися при подальших дослідженнях особливостей літогенезу відкладів стрийської світи Скибової зони Українських Карпат. Виявлені рештки кам'яновугільної екзотики трапляються в досить широкому стратиграфічному діапазоні – в крейдово-палеогенових товщах. Наявна опублікована інформація попередніх дослідників про їхній склад і літологічні особливості трапляється зрідка. Лише в поодиноких публікаціях вони охарактеризовані як «пісковики стрийської світи».

Виклад головного матеріалу. Загальновідомо, що в тилівій частині скиби Параска поширені піщано-алевро-глинисті та піщані фації, у яких містяться поліміктові псамітові та алевро-псамітові відклади з карбонатним цементом плівкового типу. Теригенні утворення стрийської світи, зокрема її верхньої частини, у цих породах зазнали вторинних перетворень, представлених у формі прожилкування та мікрозитових структур цементу. Зокрема, у кар'єрі «Св'ятослав» вуглевмісна порода представлена пісковиками сірими середньозернистими і дрібнозернистими, в одних місцях горизонтально шаруватими, дуже міцними, а в інших масивними. Одна поверхня нашарування густо усіяна дуже дрібним вугільним шламом (детритом) загалом до 1мм, а зрідка від 5×6×7 мм до ширини 2 см,

довжини 4 см, товщини 2.5 см. А втім, у фронтальній частині скиби Параска поширені піщано-алевро-глинисті, піщані та глинисто-мергельно-піщані фації. Відклади тектонізовані у вигляді тектонічних брекчій, меланжу. Серед відкладів глинисто-мергельно-піщаної фації вздовж тектонізованих карбонатних тріщин розвивається пірит, який вочевидь мав одну фазу утворення [8].

В межах фронтальної частини Орівської скиби у природних відслоненнях по р. Дністер вуглевмісні породи – це головно пісковики верхньострийської підсвіти грубо-середньозернисті, сірі, темно-сірі, на свіжому зломі з коричнуватим і зеленкуватим відтінком, дуже вапнисті, інтенсивно реагують з HCl, з незначними кількостями лусочок мусковіту і біотиту товщиною до 1,5×2 мм та значну кількість включень вугілля різних розмірів від 1,5–2,5 см і більше. Подекуди трапляється гравеліти жовтого кольору, масивні з поодинокими дрібними (до 2×4 мм) включеннями чорного вугілля і неорганічної породи білого, сірого і темно-сірого кольорів. Основна частина гравелітів (його цемент) інтенсивно реагує з HCl, а неорганічні включення не реагують. Кількість уламків вугілля у гравелітах значно менша, ніж в описаному вище пісковиках. Нижче наводимо детальний петрографічний опис літотипів уламкових порід з наявною кам'яновугільною екзотикою.

Літотип 1. Пісковик кварцовий, середньозернистий, дуже вапнистий. У складі уламкового матеріалу переважають кварц, кальцит, глауконіт, мусковіт, вугілля та рештки вуглистого аргіліту. Зерна кварцу кутасті і напівкутасті. Кальцит переважно трапляється у формі полісинтетичних двійників, хоча подекуди в інтерстиціях розвиваються й аморфні зерна. Колір глауконіту змінюється від світло до темно-зеленого. Форми зерен вугілля кутасте та напівкутасте. Хоча вугілля у штуфах представлене уламками розміром від 3×2 мм до 7×10 мм, за максимального розміру від 3×4 мм до 5×7 мм, все ж, у шліфах розмір зерен вугілля не перевищує 2 мм. Цемент карбонатний, поровий. Породи вивчалися в межах ділянки с. Стрільки (рис. 1).

Літотип 2. Вугільна брекчія. Розміри уламків вугілля у штуфах змінюються від 1×1 мм, 2×3 мм до 5×15 мм і 6×8 мм, хоча переважають агрегати розміром від 3×4 мм до 5×6 мм. У шліфах розмір вугілля не перевищує 2 мм. Всі уламки вугілля кутасті. Наповнювач середньо-дрібнозернистий, кварцовий з незначними домішками глауконіту, дуже вапнистий. Зерна кварцу напівкутасті, подекуди трапляються зерна кальциту, глауконіту, та мусковіту. Цемент карбонатний, поровий. Ділянка с. Стрільки. Фото шліфа. Ніколі II. Зб. 136^а (рис. 2).

Літотип 3. Пісковик кварцовий, дуже вапнистий середньозернистий складений кутастими і напівкутастими зернами кварцу головно видовженої форми. Подекуди трапляються зерна кальциту, глауконіту, мусковіту та решток вуглистого аргіліту, а зрідка й зерна ізометричної форми подібні на циркон? Залишки вуглефікованих тканин рослин містять певну кількість мікроскопічних включень. Пісковик описаного літотипу переважає у відслоненні. Цемент карбонатний, поровий. Породи вивчалися на ділянці с. Стрільки (рис. 3).

Літотип 4. Гравеліт – масивний, грубозернистий, нерівномірно-зернистий, дуже вапнистий. Порода містить зерна кварцу, глауконіту, кальциту, рештки вуглистого аргіліту та мусковіту. Кількість зерен кварцу в близька до кількості кальциту, а на окремих ділянках шліфа його дещо більше. Зерна кварцу та кальциту головно напівобкатані. Цемент карбонатний, поровий. Ділянка кар'єр «Святослав» (рис. 4).

Літотип 5. Пісковик кварцовий, дрібнозернистий, з кальцитовим цементом. Форма зерен кварцу, кальциту, глауконіту та вугілля – кутааста. Порода відрізняється від описаних вище більшою кількістю мусковіту, глауконіту та меншою кількістю зерен кальциту. Цемент карбонатний, поровий. Ділянка кар'єр «Святослав» (рис. 5).



Рис. 1. Пісковик кварцовий. Ділянка с. Стрільки. Фото шліфа. Ніколі II. Зб. 136х

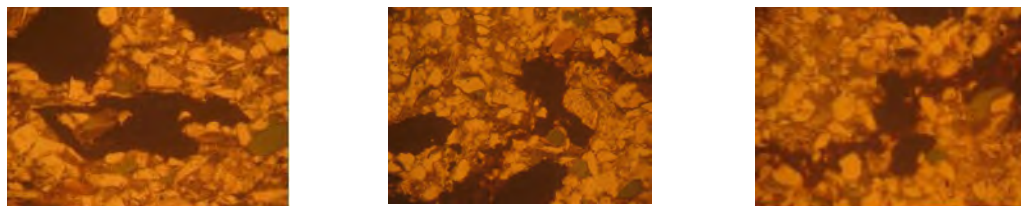


Рис. 2. Вугільна брекчія. Ділянка с. Стрільки. Фото шліфа. Ніколі II. Зб. 136х

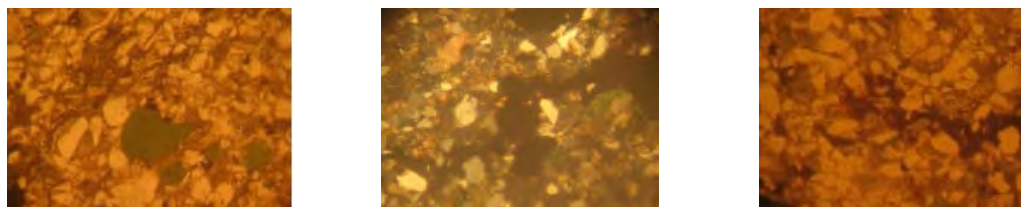


Рис. 3. Пісковик кварцовий. Ділянка с. Стрільбичі. Фото шліфа. Ніколі II. Зб. 136х



Рис. 4. Гравеліт. Ділянка кар'єр «Святослав» Фото шліфа. Ніколі II. Зб. 136х



Рис. 5. Пісковик кварцовий. Ділянка кар'єр «Святослав», фото шліфа. Ніколі II. Зб. 136х

Провівши дослідження, ми звернули увагу на форму залягання власне вугільної екзотики у вмінних породах (розмір уламків, їхня кількість, ступінь обкатаності та спосіб розташування). Вдалося встановити низку цікавих особливостей (типів) залягання: 1 – поодинокі досить великого розміру (до 50 см і більше) глиби вугілля у вмінних породах.

Такого ж розміру уламки були виявлені В. В. Глушком та Г. Д. Досінім [1]. Вони вказали на наявність таких уламків вугілля в стрийських відкладах Сколівської скиби на пн–сх. с. Путила на правому березі річки Путила; 2 – окремі геологічні тіла подібні на «вугільний конгломерат», у розрізі подібні на лінзу, а в плані неправильної форми включення у товщі породи, великою кількістю уламків вугілля діаметром від 1–2 до 10–12 см, з напівобкатаними і напівкустастими уламками, загальна кількість яких більша від кількості цементуючої породи або близька до неї. Цей тип залягання кам'яновугільної екзотики виявлений і описаний нами у відслоненні на березі р. Дністер (відслонення 1) біля с. Стрілки. Тут спостерігаємо куски вугілля розміром від 1,5 до 2,5 см зцементовані карбонатним пісковиком; 3 – подібне на «вугільну брекчію» складену великою кількістю головно необкатаних уламків вугілля загальна кількість яких більша або близька до маси цементуючої породи, описаний нами по пробах з відслонення на березі р. Дністер (відслонення 2) біля с. Стрілки. Уламки вугілля товщиною до 10 см, довжиною до 3 см. В розрізі форма вугільної брекчії близька до лінзоподібної; 4 – окремі, дрібні, хаотично розташовані у вмісній породі, уламки кам'яного вугілля розміром менше 10 мм, вивчені нами з відібраних проб кар'єру «Святослав», що розробляє пісковики стрийської світи, тут ми бачимо окремі уламки кам'яного вугілля малих розмірів від 5 до 15 мм, а подекуди навіть менші; 5 – скупчення вугільного шламу і атриту розміром уламків вугілля до 1 мм на площинах нашарування неорганічної вмісної породи (проби кар'єру «Святослав»), характерною їх особливістю є відсутністю типового вугільного блиску у дуже дрібних його уламках та нерівномірний розподіл на площинах нашарування пісковиків.

Геометрична форма окремо взятих уламків вугілля вивчених нами проб у виділених типах не постійна і може змінюватися від квадратної до прямокутної, лінзоподібної та полігональної. У вуглевмісних породах Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну трапляються подібні типи вугілля та вуглефікованої органічної речовини.

Висновки та перспективи подальшого дослідження. У вивчених нами природних відслоненнях літологічний склад порід – це головно пісковики грубо-середньозернисті, темно-сірі, сірі, на свіжому сколі з коричнюватим або зеленкуватим відтінком, сильно карбонатні, подекуди трапляються лусочки мусковіту і біотиту. У нижніх частинах розрізу трапляється гравеліти жовтуватого кольору, масивний з поодинокими дрібними (до 2×4 мм) включеннями чорного вугілля і неорганічної породи білого, сірого і темно-сірого кольорів. У гравелітах (цемент) карбонатний, а неорганічні його включення не реагують з кислотою.

Виявлені і досліджені нами уламки вугілля трапляються у відслоненнях серед товщ грубо- і середньозернистих кварцових карбонатних пісковиків, у стрийській світі пізньої крейди на березі р. Дністер (с. Стрілки), р. Яблунька (с. Стрільбичі) та кар'єру «Святослав» (с. Коростів Сколівського району). Розподілення їх в розрізі нерівномірне. В одних місцях це поодинокі уламки різних розмірів, в інших – масові скупчення кусків різних розмірів, зцементованих пісковиком у своерідні вугільні брекчії та конгломерати. Кількість уламків вугілля у гравелітах значно менша, ніж у пісковиках. Їх розміри змінюються від одиниць міліметрів до десятків сантиметрів.

Ступінь обкатаності уламків вугілля прямопропорційна їхнім розмірам. Це зумовлено місцезнаходженням їх на шляху перенесення від області денудації до області седиментації, відстанню між ними та масою уламків вугілля. Малі слабомінералізовані кусочки досить легкі і тому переносились переважно у зваженому стані поверхневими або середніми шарами потоку води і мало контактували з його дном, не обкатувались. Великі перекочувалися по дну транспортувального середовища (водного потоку) та переносились разом з вугіллям в басейн седиментації, тобто із зернами кварцу і карбонатів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Глушко В.В., Досін Г.Д. Про вугленосний карбон у фундаменті Східних Карпат і його значення для оцінки перспектив нафтогазоносності. *Геол. журнал*, 1978. т. 38. №5. С.12–19.
2. Єлін Н.Д. Роль вугленосних відкладів палеозою у формуванні газових родовищ Передкарпаття. *Нафтогазова геологія і геофізика*. 1972. №2. с. 29–35.
3. Іваніна А.В. Палінологічна характеристика „екзотики” Українських Карпат і Передкарпаття. *Палеонтол. збірник*, 2005. №37. С. 100–104.
4. Історія геологічного розвитку Українських Карпат. О.С. Вялов, С.П. Гавура, В.В. Даниш та ін. Наук. Думка. 1981. 180 с.
5. Калугін П. І. До будови верхньокрейдового флішу в Бориславських Карпатах. Праці Карпат. НІІ. Вип. 1. Держгеолвид. 1949. с. 25–54.
6. Карпатська нафтогазоносна провінція. В. В. Колодій, Г. Ю. Бойко Л. Є. Бойчевська та ін. Львів. Київ. 2004. 390 с.
7. Копистянський Р. С, Іщенко А. М., Болдирєва Т. О. Уламки вугілля в породах Карпатського флішу. Доп. АН України. 1959. № 2. С. 192–193.
8. Костюк О. Термоелектричні властивості діагенетичного піриту у відкладах палеоцену (Скибова зона Українських Карпат). *Мінералогічний збірник*. 2020. №70. Вип. 1-2. С. 54–59.
9. Ладигенський Г. Н., Сергєєва Л. А. Про вуглисті уламки із стрийських відкладів зони Берегових Карпат. Тектоніка і корисні копалини заходу України. Ч. 1. Наук. думка. 1973. С. 228.
10. Узіюк В.І. Лінійний метод визначення петрографічного складу вугілля. *Розвідка і охорона надр*. №9. 1984. С.30–32.
11. Узіюк В.І. Анатомо-морфологічний метод фітерального аналізу вугілля і вугільних пластів карбону України. *Геологія і геохімія горючих копалин*. №4. 1999. С. 53–65.
12. Фролов В.Т. Керівництво до лабораторних занять по петрографії осадових порід. 1964. 310 с.
13. Хмелівський В. О. Таблиці та рисунки до лабораторних робіт з курсу “Петрографія осадових порід”. В. О. Хмелівський, І. В. Побережська, О. В. Костюк, І. Г. Гнатів. Львів: Видав. центр ЛНУ ім. І. Франка. 2005. 120 с.
14. Bukowy St. Wegiel kamienny w Karpatach Brzeznych. – *Przeegl. geol.* 1957. N 12. S. 577–578.
15. Kotlarczyk J., Sliwa M. Przyczynek do znajomosci utworow karbonu produktywnego w podlozu wschodniej czesci Karpat polskich. *Przeegl. geol.*, 1963. N 6. S. 268–272.
16. Kozikowski H. Proba ustalenia «prazbiornika» ropy fliszu Karpat Polnocnych. *Nafta*. 1966. N 3. S. 65–71.
17. Turnau E. Microflora i paleogeografia karbonu produktywnego w polskiej czesci Karpat. *Inst. geol. Biul.* 235. Z badan geol. w Karpatach. T. 13. Warszawa. 1970. S. 163–244.
18. Zerndt J. Versuch einer stratigraphischen Bestimmung von Steinkohlen-Gerollen der Karpathen auf Grund von Megasporenstudien. – *Bull. int. Acad. Pol. Sci., cl. mat. et nat. Ser. B. sc. natur.* (1). 1932. Cracovie. 1933. S. 1–7.

REFERENCES

1. Hlushko, V.V., Dosin, H.D. (1978). Pro vuhlenosnyi karbon u fundamenti Skhidnykh Karpat i yoho znachennia dlia otsinky perspektyv naftohazonosnosti. *Heol. zhurnal*, t. 38. №5. S.12–19.
2. Yelin, N.D. (1972). Rol vuhlenosnykh vidkladiv paleozoiu u formuvanni hazovykh rodovyshch Peredkarpattia. *Naftohazova heolohiia i heofizyka*. №2. s. 29–35.
3. Ivanina, A.V. (2005). Palinologichna kharakterystyka „ekzotyky” Ukrainskykh Karpat i Peredkarpattia. *Paleontol. zbirnyk*, №37. S. 100–104.

- Istoriia heolohichеноho rozvytku Ukrainskykh Karpat. O.S. Vialov, S.P. Havura, V.V. Danysht a in. Nauk. Dumka. 1981. 180 s.
- Kaluhin, P. I. (1949). Do budovy verkhnokreidovoho flishu v Boryslavskykh Karpatakh. Pratsi Karpat. NII. Vyp. 1. Derzhheolvyd. s. 25–54.
- Karpataska naftohazonosna provintsiiia. V. V. Kolodii, H. Yu. Boiko L. Ye. Boichevska ta in. Lviv. Kyiv. 2004. 390 s.
- Kopystianskyi, R. S, Ishchenko, A. M., Boldyrieva, T. O. (1959). Ulamky vuhillia v porodakh Karpatского flishu. Dop. AN Ukrainy. № 2. S. 192–193.
- Kostiuk, O. (2020). Termoelektrychni vlastyivosti diahenetychnoho pirytu u vidkladakh paleotsenu (Skybova zona Ukrainskykh Karpat). *Mineralohichnyi zbirnyk*. №70. Vyp. 1-2. S. 54–59.
- Ladyzhenskyi, H. N., Sierhieieva, L. A. (1973). Pro vuhlysti ulamky iz stryiskykh vidkladiv zony Berehovykh Karpat. Tektonika i korysni kopalyny zakhodu Ukrainy. Ch. 1. Nauk. dumka. S. 228.
- Uziuk, V.I. (1984). Liniiniy metod vyznachennia petrografichного skladu vuhillia. *Rozvidka i okhorona nadr*. №9. S.30–32.
- Uziuk, V.I. (1999). Anato-morfologichnyi metod fiteralного analizu vuhillia i vuhilnykh plastiv karbonu Ukrainy. *Heolohiia i heokhimiia horiuchykh kopalyn*. №4. S. 53–65.
- Frolov, V.T. (1964). Kerivnytstvo do laboratornykh zaniatb po petrografii osadovykh porid. 310 s.
- Khmeliivskyi, V. O. (2005). Tablytsi ta rysunky do laboratornykh robiz z kursu “Petrohrafia osadovykh porid”. V. O. Khmeliivskyi, I. V. Poberezhska, O. V. Kostiuk, I. H. Hnativ. Lviv: Vydav. tsentr LNU im. I. Franka. 120 s.
- BukowySt. Wegiel kamienny w Karpatach Brzeznych. – *Przevl. geol.* 1957. N 12. S. 577–578.
- Kotlarczyk, J., Sliwa, M. (1963). Przyczynek do znajomosci utworow karbonu produktyvного w podlozu wschodniej czesci Karpat polskich. *Przevl. geol.*, N 6. S. 268–272.
- Kozikowski, H. (1966). Proba ustaleniia «prazbiornika» ropy fliszu Karpat Polnocnych. *Nafta*. N 3. S. 65–71.
- Turnau, E. (1970). Microflora i paleogeografia karbonu produktyvного w polskiej czesci Karpat. *Inst. geol. Biul.* 235. Z badan geol. w Karpatach. T. 13. Warszawa. S. 163–244.
- Zerndt, J. (1933). Versuch einer stratigraphischen Bestimmung von Steinkohlen–Gerollen der Karpathen auf Grund von Megasporenstudien. *Bull. int. Acad. Pol. Sci., cl. mat. et nat. Ser. B. sc. natur.* (1). 1932. Cracovie. S. 1–7.

LITHOLOGICAL FEATURES OF THE CONTAINING ROCKS AND SPATIAL DISTRIBUTION OF LATE CRETACEOUS EXOTIC IN SECTIONS OF THE STRIYA WORLD OF THE SKIBOVA ZONE OF THE CARPATHIANS

Oleksandr Kostiuk, Oleh Koba

Ivan Franko National University of Lviv, 4, Hrushevskoho Str., Lviv, Ukraine, 79005
e-mail: oleksandr.kostyuk@lnu.edu.ua; oled.koba@lnu.edu.ua

Based on lithological and petrographic studies of the Late Cretaceous formations of the Skybova zone of the Ukrainian Carpathians, the main lithological types of rocks containing coal fragments have been characterized and the nature of their distribution has been established. Coal-bearing rocks were studied from a number of outcrops on the banks of the Dniester River (Strilki village), the Yablunka River (Strilbychi village) and the Svyatoslav quarry (Korostiv village, Skole district). The work reveals the genetic nature of the processes and factors of sedimentation and transformation of rocks, establishing

a connection between lithological features and forms of occurrence of Upper Cretaceous deposits. The sections were studied in detail methodologically and the composition of host rocks from the Late Cretaceous deposits of the Stryi Formation was described.

In the natural outcrops we studied, the lithological composition of the rocks is mainly coarse-medium-grained sandstones, dark gray, gray, on fresh chips with a brownish or greenish tint, strongly carbonate, in some places there are scales of muscovite and biotite. In the lower parts of the section, there are gravelites of yellowish color, massive with single small (up to 2×4 mm) inclusions of black coal and inorganic rock of white, gray and dark gray colors. In gravelites (cement) is carbonate, and its inorganic inclusions do not react with acid.

Coal fragments discovered and studied by us occur in outcrops among strata of coarse- and medium-grained quartz carbonate sandstones, in the Stryan world of the Late Cretaceous on the banks of the river. Dniester (with. Arrows), r. Apple tree (with. Shooting) and career «Svyatoslav» (p. Korostiv, Skoliv district). Their distribution in the section is uneven. In some places these are single fragments of different sizes, in others – mass clusters of pieces of different sizes, cemented by sandstone into a kind of coal breccias and conglomerates. The amount of coal fragments in gravelites is much smaller than in sandstones. Their sizes vary from units of millimeters to tens of centimeters.

The degree of rolling of coal fragments is directly proportional to their size. This is due to their location on the transfer path from the denudation region to the sedimentation region, the distance between them and the mass of coal fragments. Small weakly mineralized pieces are quite light and therefore were carried mainly in a suspended state by the surface or middle layers of the water flow and had little contact with its bottom, were not rolled. Large ones rolled along the bottom of the transport medium (water flow) and were transferred together with coal to the sedimentation basin, that is, with grains of quartz and carbonates.

Key words: flysch, Skybova zone of the Ukrainian Carpathians, sandstones, limestones, clays, marls, granulometric sorting of rocks.

Дата першого надходження статті до видання: 08.01.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 20.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026

УДК 550.8:004.94:004.8

DOI <https://doi.org/10.30970/vgl.40.09>

ЕХПЛІСІТ, ІМПЛІСІТ ТА АІ-МОДЕЛЮВАННЯ В ГЕОЛОГІЇ: ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ І ПЕРСПЕКТИВИ ІНТЕГРАЦІЇ

Нікіта Храмов <https://orcid.org/0009-0003-9933-5520>

*Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005
e-mail: Nikita.Khramov@lnu.edu.ua; mantecanikita@gmail.com*

Геологічне 3D моделювання є одним з ключових етапів інтерпретації геолого-фізичних даних, що забезпечує формування тривимірного уявлення про будову родовища, розміри та глибину залягання геологічних тіл, закономірності розподілу корисних копалин. У зв'язку зі стрімким розвитком цифрових технологій та зростанням обсягів геолого-фізичних даних виникає потреба у порівнянні традиційних і новітніх методів моделювання, а особливо аналізу їх ефективності під час інтерпретації результатів геологічних дослідженнях.

У роботі здійснено порівняльний аналіз explicit- та implicit- підходів, а також продемонстровано можливості застосування АІ-алгоритмів (алгоритмів штучного інтелекту) для автоматизації та оптимізації процесу моделювання. Особливу увагу приділено відмінностям у способах інтерпретації геолого-фізичних даних, рівню участі геолога у створенні моделей, а також швидкості та достовірності побудови геологічних поверхонь і об'ємних структур.

Проаналізовано переваги та обмеження кожного підходу з позиції їх застосування у сучасних програмних середовищах геологічного моделювання (explicit-моделювання – Micromine, Surpac, Leapfrog Geo; implicit-моделювання – RBF (Radial Basis Function), Kriging, PFI (Potential Field Interpolation), Spline; АІ-моделювання – SVM (Support Vector Machine), k-NN (k-Nearest Neighbors), Naive Bayes classifier (найвний байєсівський класифікатор), Gradient Boosting (Градiєнтне підсилювання), Gaussian Processes (Гауссівський процес), CNN (Convolutional Neural Network), LSTM (Long Short-Term Memory)).

Обґрунтовано доцільність інтеграції різних підходів у межах єдиного процесу геологічного моделювання. Поєднання інтерпретації геологом, алгоритмічних методів побудови поверхонь та інструментів штучного інтелекту дозволяє підвищити точність геологічних моделей, оптимізувати час їх створення та покращити якість прогнозування положення геологічних об'єктів. Такий інтегрований підхід розглядається як перспективний напрям розвитку цифрової геології та геологічного 3D моделювання родовищ.

Ключові слова: геологічне 3D моделювання, explicit-моделювання, явне моделювання, не явне моделювання, implicit-моделювання, штучний інтелект, АІ-моделювання, тривимірні геологічні моделі, інтерпретація геолого-фізичних даних, моделювання родовищ корисних копалин.

Постановка проблеми. Сучасний етап розвитку геологічних наук характеризується стрімким зростанням обсягів геолого-фізичних даних, що надходять із різних джерел, зокрема під час буріння та каротажу свердловин, геофізичних досліджень, дистанційного зондування та лабораторного аналізу зразків керну. Ефективна інтерпретація цих даних потребує використання сучасних методів геологічного 3D моделювання, які дозволяють створювати тривимірні уявлення про будову надр і закономірності розподілу корисних

© Храмов Н., 2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

копалин. У зв'язку з цим, таке моделювання стає одним із головних інструментів у процесі дослідження, оцінки та освоєння родовищ.

Зазвичай у практиці геологічного моделювання широко застосовується *explicit*-підхід, який базується на безпосередній побудові геологічних поверхонь та об'ємів на основі інтерпретації геолога. Цей метод забезпечує високий рівень контролю над процесом моделювання та дозволяє враховувати складні геологічні особливості, однак потребує значних часових витрат і значною мірою залежить від суб'єктивних рішень фахівця. У складних геологічних умовах або за наявності великої кількості даних такий підхід може бути мало-ефективним або потребувати залучення значних ресурсів.

Альтернативою став розвиток *implicit*-моделювання, яке ґрунтується на використанні математичних алгоритмів інтерполяції для автоматизованого створення геологічних поверхонь. Цей підхід дозволяє значно прискорити процес моделювання та забезпечує більш об'єктивний і відтворюваний результат. Водночас *implicit*-моделювання може недостатньо точно відображати складні геологічні структури без належного контролю з боку геолога, що обмежує його застосування у деяких випадках.

Останніми роками у геологічному моделюванні починають активно розвиватися методи штучного інтелекту та машинного навчання, які відкривають нові можливості для аналізу великих масивів геолого-фізичних даних. Алгоритми AI здатні виявляти приховані закономірності у даних, автоматизувати процеси інтерпретації та прогнозувати просторове поширення геологічних об'єктів. Проте інтеграція таких технологій у традиційні процеси геологічного моделювання та інтерпретації все ще перебуває на етапі активного дослідження та потребує уважного контролю фахівця.

Незважаючи на наявність різних підходів до створення геологічних моделей, питання їх ефективного поєднання та оптимального використання залишається недостатньо вивченим. Існує потреба у системному порівняльному аналізі *explicit*-, *implicit*- та AI-моделювання з точки зору їх можливостей, обмежень та практичної доцільності застосування у геологічних дослідженнях.

Таким чином, актуальною науковою проблемою є визначення перспектив інтеграції різних методів геологічного моделювання у межах цифрового геологічного аналізу. Розв'язання цієї проблеми сприятиме підвищенню точності геологічних моделей, оптимізації процесів обробки геолого-фізичних даних та покращенню ефективності дослідження і прогнозування родовищ корисних копалин.

Аналіз попередніх досліджень. Проблематика геологічного моделювання родовищ корисних копалин активно досліджується впродовж останніх десятиліть у зв'язку з розвитком комп'ютерних технологій та зростанням ролі цифрових методів інтерпретації геолого-фізичних даних. У науковій літературі недостатньо уваги приділяється методам побудови тривимірних геологічних моделей, які можуть дозволити інтегрувати різноманітні геологічні, геофізичні та геохімічні дані в єдину просторову систему. Такі моделі потенційно можуть використовуватись для вивчення геологічної будови родовищ, оцінки ресурсів, планування гірничих робіт та ін. [9; 12].

Аналіз наукових публікацій свідчить, що в Україні застосування цих підходів є дуже обмеженим. Існують окремі приклади 3D-моделювання родовищ, зокрема для рудного об'єкта Сауляк у Закарпатті, де використовувалися ГІС- та 3D-пакети для побудови геологічних моделей [15]. Окремі дослідження стосуються моделювання вуглеводневих покладів та гідрогеологічних систем. Також у виробничій практиці застосовуються комерційні рішення для 3D-моделювання родовищ і підрахунку запасів.

Проте такі роботи мають переважно локальний або оглядовий характер і зосереджені на окремих об'єктах або задачах. До прикладу у роботі О. Прокопенко, Н. Баряцька,

В. Зацерковний [16] досліджується ефективність каркасного та умовного моделювання у програмному продукті Micromine. Позаяк для більшості родовищ України, зокрема значної частини вугільних басейнів, до прикладу Львівсько-Волинський кам'яновугільний басейн, рудних проявів Карпатського регіону та критичних мінеральних ресурсів, повноцінні інтегровані 3D-моделі або відсутні, або не опубліковані у відкритому доступі. Практично не представлені дослідження, що поєднують implicit-моделювання з методами машинного навчання, а також відсутні системні роботи з оцінки геологічної невизначеності на основі AI.

Таким чином, на відміну від світових тенденцій, де формується інтегрований підхід, в Україні геологічне моделювання залишається фрагментарним і переважно базується на традиційних методах. Це свідчить про необхідність активнішого впровадження сучасних алгоритмів, розвитку цифрової інфраструктури даних та переходу до комплексного 3D-моделювання родовищ.

Ранні дослідження у сфері геологічного моделювання були зосереджені переважно на explicit-підході, який передбачає побудову геологічних поверхонь і тіл безпосередньо геологом на основі інтерпретації наявних даних. У межах цього підходу було розроблено низку методичних принципів побудови структурних та стратиграфічних моделей, що широко застосовуються у практиці геологічних досліджень. Багато авторів відзначають, що explicit-моделювання забезпечує високий рівень геологічної обґрунтованості моделей, однак водночас потребує значних часових витрат і значною мірою залежить від досвіду та кваліфікації фахівця [11; 4].

Подальший розвиток комп'ютерних технологій сприяв появі implicit-моделювання, яке базується на використанні математичних алгоритмів інтерполяції та апроксимації для автоматизованого створення геологічних поверхонь. У наукових роботах відзначається, що цей підхід дозволяє значно прискорити процес побудови моделей і забезпечує можливість роботи з великими обсягами даних. Разом з тим дослідники звертають увагу на необхідність поєднання автоматизованих алгоритмів із геологічною інтерпретацією, оскільки повністю автоматичні моделі можуть не враховувати складні структурні особливості геологічного середовища [3; 12].

Останнім часом значний інтерес у науковій спільноті викликає використання методів штучного інтелекту та машинного навчання у геологічному моделюванні. У низці досліджень розглядаються можливості застосування нейронних мереж, кластеризаційних алгоритмів та інших AI-інструментів для аналізу геолого-фізичних даних, прогнозування поширення мінералізації, вмісту корисної копалини та автоматизації процесів інтерпретації. Такі підходи дозволяють працювати з великими масивами інформації та виявляти складні нелінійні закономірності, які важко визначити традиційними методами [2; 7].

Попри значний обсяг наукових досліджень, питання комплексного порівняння explicit-, implicit- та AI-підходів до геологічного моделювання залишаються недостатньо висвітленими. У більшості робіт ці методи розглядаються окремо, тоді як їх інтегроване використання має значний потенціал для підвищення ефективності геологічного аналізу. Саме тому подальші дослідження у цьому напрямі вважаю необхідним спрямувати на розроблення підходів до поєднання традиційних і сучасних методів моделювання у межах єдиної системи цифрової геологічної інтерпретації.

Метою роботи є порівняльний аналіз основних підходів до геологічного моделювання (explicit-, implicit- та AI-моделювання) з метою визначення їхніх методологічних особливостей, переваг і обмежень у процесі створення тривимірних геологічних моделей. У роботі розглядаються різні методи побудови моделей, рівень автоматизації процесу моделювання та роль експертної інтерпретації геолого-фізичних даних.

Виклад основного матеріалу. Серед інструментів інтерпретації геолого-фізичних даних геологічне моделювання є щонайменше одним з найперспективніших підходів у формуванні просторового уявлення про будову надр. Воно дозволяє інтегрувати результати буріння, геофізичні дослідження, структурні спостереження і лабораторні аналізи у єдину тривимірну модель геологічного середовища. Такі моделі широко використовуються для оцінки ресурсів родовищ корисних копалин, аналізу геологічної будови та планування гірничих робіт. Розвиток комп'ютерних технологій значно сприяв формуванню сучасних методів цифрового геологічного моделювання, які розширили можливості інтерпретації складних геологічних структур [9].

Explicit-моделювання. Одним із традиційних підходів до створення геологічних моделей є explicit-моделювання (явне моделювання), яке передбачає безпосередню побудову геологічних поверхонь та об'ємних тіл на основі інтерпретації даних геологом у відповідному програмному середовищі (Micromine, Surpac, Leapfrog Geo, тощо). У межах цього методу фахівець аналізує геологічні розрізи, контакти між породами, структурні елементи та інші геологічні дані, після чого формує геологічні поверхні шляхом їх ручної побудови (оцифрування розрізів, побудова каркасних моделей (wireframing), триангуляція поверхонь (TIN), побудова полігональних сіток, екструзія геологічних тіл). Такий підхід є доцільним у випадках складної тектонічної будови родовищ, наприклад при моделюванні розломних зон, складчастих структур або локальних геологічних тіл, де важливо врахувати інтерпретацію геолога та геологічний контекст. Explicit-моделювання часто використовується на ранніх етапах геологічного вивчення родовищ або при побудові моделей, де точність інтерпретації має ключове значення. Також варто зазначити, що використання explicit-моделювання геологом є суб'єктивним відносно прийнятих загальних уявлень про район досліджень та компетенції фахівця [11].

Implicit моделювання. Подальший розвиток програмного забезпечення для геологічного моделювання сприяв появі implicit-підходу (неявне моделювання), який базується на використанні математичних методів інтерполяції для автоматизованого створення геологічних поверхонь. У цьому випадку геологічні контакти описуються за допомогою безперервних функцій (скалярних полів), значення яких інтерполюються в просторі, а поверхні формуються як ізоповерхні цих функцій.

Основні методи implicit-моделювання включають: радіальні базисні функції (RBF), Kriging (геостатистична інтерполяція), методи потенціальних полів (potential field interpolation), сплайн-інтерполяцію, а також комбіновані алгоритми з урахуванням об'єкту моделювання. RBF (Radial Basis Function) працює шляхом побудови функції, яка точно проходить через відомі точки (наприклад, дані буріння), де кожна точка має вплив на простір навколо себе – у результаті чого формується безперервна поверхня.

Кригінг (Kriging) враховує просторову кореляцію даних (варіограму) і дозволяє не тільки інтерполювати значення, але й оцінювати невизначеність моделі. Що в свою чергу дає змогу оцінити якість змодельованої моделі/поверхні, позаяк алгоритм враховує розподіл даних (наприклад, результатів буріння) та оцінює похибку через високу або низьку дисперсію даних у кожній частині моделі.

Такий підхід (Implicit-моделювання) є особливо ефективним при роботі з великими масивами бурових даних, наприклад під час моделювання стратиграфічних поверхонь або побудови каркасних моделей родовищ, де необхідно швидко оновлювати модель при надходженні нових даних буріння. При додаванні нових точок алгоритм автоматично перебудовує скалярне поле, що дозволяє миттєво отримати оновлену геометрію без ручного редагування.

Implicit-моделювання широко застосовується у сучасних програмах геологічного моделювання (Leapfrog Geo, Micromine, GemPy, Datamine Studio RM), оскільки дозволяє

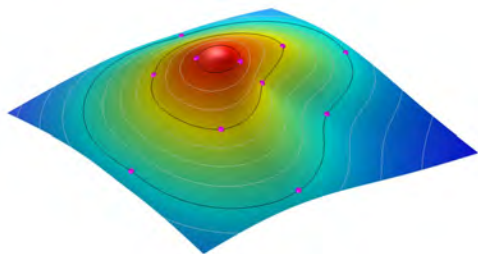


Рис. 1. Інтерпольована поверхня шляхом використання RBF [13]

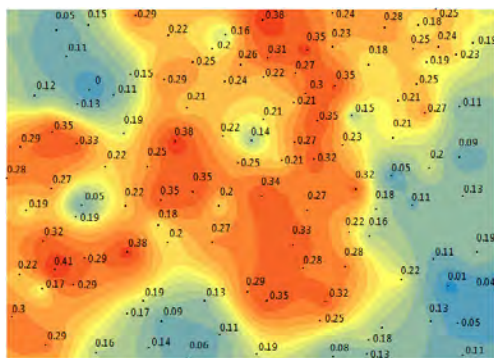


Рис. 2. Інтерпольована поверхня шляхом використання Kriging з обчисленою похибкою [14]

значно прискорити процес побудови моделей та зменшити вплив суб'єктивних факторів. Разом з тим результати такого моделювання потребують геологічного контролю, оскільки автоматичні алгоритми можуть не завжди коректно відображати складні структурні взаємозв'язки між геологічними об'єктами, особливо за недостатньої кількості або нерівномірності даних [2; 7].

AI-моделювання. Останніми роками у геологічних дослідженнях активно розвиваються методи штучного інтелекту та машинного навчання. Використання AI-технологій дозволяє здійснювати аналіз великих масивів геолого-фізичних даних, автоматизувати процеси класифікації порід, прогнозувати поширення мінералізації та підтримувати прийняття рішень під час моделювання родовищ.

У сучасній практиці застосовується широкий спектр алгоритмів, вибір яких визначається характером задачі та типом даних. Для задач класифікації, зокрема розпізнавання літологічних типів за каротажними або геохімічними даними, широко використовуються ансамблеві методи, такі як Random Forest, які забезпечують високу точність навіть за наявності шуму та пропусків у даних, SVM (Support Vector

Machine), що є ефективним при роботі з високорозмірними наборами даних. У більш простих випадках застосовуються методи k-NN (k-Nearest Neighbors) або Naive Bayes classifier (наївний байєсівський класифікатор), які дозволяють швидко отримати первинну інтерпретацію даних на основі подібності спостережень. Для прогнозу вмісту корисних компонентів оптимальними є Gradient Boosting (Градiєнтне підсилювання) або Gaussian Processes (Гауссівський процес) через їх здатність враховувати складні нелінійні залежності та просторову структуру. У випадку аналізу сейсмічних даних найбільш ефективними є CNN (Convolutional Neural Network) або LSTM (Long Short-Term Memory), які здатні прогнозувати сейсмічну активність розглядаючи дані як часові послідовності.

Таким чином, AI-підходи не замінюють повністю explicit та implicit моделювання, але суттєво розширюють їх можливості, забезпечуючи більш глибокий аналіз даних, автоматизацію процесів та підвищення обґрунтованості геологічних моделей [1]. Проте, використання AI у геологічному моделюванні має певні обмеження, пов'язані з якістю вхідних даних, необхідністю великих навчальних, тестових та, у деяких випадках, валідаційних наборів даних та складністю інтерпретації отриманих результатів [6]. Також варто зазначити, що алгоритми штучного інтелекту не можуть повністю замінити геологічну експертизу, оскільки геологічні процеси часто мають складний та багатофакторний характер. Тому результати AI-аналізу повинні використовуватися у поєднанні з традиційними методами геологічної інтерпретації та моделювання [8; 10].

Порівняння підходів 3D моделювання в різних геологічних умовах України.

Різні геологічні регіони України характеризуються відмінними умовами формування родовищ і, відповідно, потребують застосування різних підходів до 3D моделювання. Для Українських Карпат, що відзначаються складною складчасто-насувною тектонікою і високим рівнем геологічної невизначеності, доцільним є поєднання *implicit*-моделювання з експертною інтерпретацією геолога. Такі методи (зокрема RBF, potential field interpolation) дають змогу коректно відтворювати складні геологічні поверхні навіть за обмеженої кількості даних/свердловин.

У межах Передкарпатського прогину, де поширені нафтові та газові родовища, геологічна будова є відносно краще вивченою завдяки значній кількості свердловин і сейсмічних даних. Таким чином ефективним є застосування *explicit*-моделювання у поєднанні з геостатистичними методами (Kriging), що дозволяє детально відтворювати пастки вуглеводнів і параметри колекторів.

Для Закарпатського внутрішнього прогину, зокрема родовищ солі та вулканогенних утворень, характерна значна мінливість морфології тіл корисних копалин. У таких умовах доцільним є використання *implicit*-підходів у поєднанні з AI-алгоритмами, які здатні виявляти приховані закономірності у просторових даних і покращувати прогнозування форми та поширення тіла.

Дніпровсько-Донецька западина, як один із головних нафтогазоносних регіонів України, характеризується потужним осадовим чохлам і відносно простою тектонікою на регіональному рівні, але складною внутрішньою будовою пасток. У цьому випадку ефективним є інтегроване застосування *explicit*-моделювання (для побудови структурних поверхонь), геостатистики та AI-методів для прогнозування властивостей колекторів і локалізації покладів вуглеводнів.

3D геологічне моделювання для Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну (ЛВБ), який є одним із ключових вугільних регіонів України, має особливе практичне значення. Басейн характеризується складною стратиграфією, численними тектонічними порушеннями (зсуви, розломи) та варіабельністю потужності вугільних пластів. Традиційне картування і 2D моделі не завжди дозволяють точно оцінити геометрію покладів і взаємозв'язки між пластами, що ускладнює планування видобутку та прогнозування запасів. Інтеграція цих підходів у межах єдиного 3D робочого процесу дозволяє не лише підвищити точність геологічних моделей ЛВБ, а й оптимізувати планування видобувних робіт, зменшити економічні ризики та покращити прогнозування запасів вугілля.

Застосування інтегрованого підходу відкриває можливість автоматизувати інтерпретацію даних, виявляти приховані закономірності просторового залягання вугілля і прогнозувати потенційні поклади у важкодоступних ділянках басейну (AI-методи); забезпечити швидке відтворення складних поверхонь із врахуванням геостатистичної мінливості товщини пластів та зміщень по розломах (*Implicit*-підходи); створювати точні каркасні моделі окремих вугільних пластів і тектонічних порушень на основі свердловинних і геолого-фізичних даних (*explicit*-підходи).

Таким чином, вибір підходу до геологічного 3D моделювання визначається не лише доступністю даних, але й геологічною специфікою регіону, що обґрунтовує необхідність інтеграції різних методів у межах єдиного робочого процесу.

У зв'язку з цим сучасні дослідження орієнтуються на інтеграцію різних підходів до геологічного 3D моделювання. Поєднання цих підходів дозволяє використовувати переваги кожного з них і забезпечує більш повне та точне відображення геологічної будови родовищ. Такий комплексний підхід розглядається як один із перспективних напрямів розвитку сучасного геологічного моделювання [4; 5].

Висновки та перспективи подальшого дослідження. Сучасне геологічне моделювання базується на декількох ключових підходах – explicit-, implicit- та AI-моделюванні, кожен з яких має власні методологічні особливості, переваги та обмеження. Explicit-моделювання характеризується високим рівнем геологічної обґрунтованості, оскільки побудова геологічних поверхонь і структур відбувається безпосередньо на основі інтерпретації геолога. Цей підхід дозволяє детально враховувати складні геологічні умови, однак потребує значних часових витрат і великою мірою залежить від досвіду спеціаліста, що в свою чергу є перевагою але і недоліком так як суб'єктивність погляду спеціаліста може бути відмінною з об'єктивною істиною.

Implicit-моделювання, на відміну від explicit-підходу, базується на використанні математичних алгоритмів інтерполяції, що забезпечує автоматизовану побудову геологічних поверхонь та значно прискорює процес створення моделей. Такий метод є особливо ефективним при роботі з великими обсягами даних та при необхідності швидкого оновлення геологічних моделей у процесі надходження нової інформації. Водночас implicit-моделі можуть недостатньо точно відображати складні геологічні структури без належного контролю, що обмежує їх використання як повністю незалежного інструменту моделювання.

Методи штучного інтелекту суттєво розширюють можливості геологічного моделювання завдяки здатності аналізувати великі масиви даних та виявляти складні закономірності у геологічній інформації. Порівняно з традиційними підходами, AI-моделювання забезпечує більш високий рівень автоматизації та може використовуватися для прогнозування поширення мінералізації, класифікації літологічних типів та аналізу геохімічних і геофізичних даних. Разом з тим ефективність таких методів значною мірою залежить від якості даних і потребує подальшої геологічної інтерпретації отриманих результатів.

Аналіз трьох підходів показує, що жоден із них не є універсальним. Explicit-моделювання є найбільш доцільним для детального аналізу та інтерпретації складних об'єктів, implicit-моделювання забезпечує ефективну автоматизовану побудову геологічних поверхонь і швидке оновлення моделей, тоді як AI-методи найбільш ефективні для аналізу великих масивів даних і прогнозування закономірностей. Саме тому найбільш перспективним напрямом розвитку сучасного геологічного моделювання є інтегроване використання існуючих методів спеціалістом для досягнення ефективного та точного результату.

Перспективи подальших досліджень полягають у розробленні інтегрованих методик поєднання explicit-, implicit- та AI-підходів. Подальший розвиток цифрових технологій та штучного інтелекту може суттєво підвищити точність тривимірних геологічних моделей і ефективність прогнозування геологічних структур та родовищ корисних копалин.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Bergen K. J., Johnson P. A., de Hoop M. V., Beroza G. C. Machine learning for data-driven discovery in solid earth geoscience. *Science*. 2019. Vol. 363(6433). eaau0323.
2. Calcagno P., Courrioux G., Guillen A., Fitzgerald D., McInerney P. How 3D implicit geologic modeling is changing the industry. *Oil & Gas Science and Technology*. 2008. Vol. 63(4). P. 537–546.
3. Caumon G., Collon P., Le Carlier de Veslud C., Viseur S., Sausse J. Surface-based 3D modeling of geological structures. *Mathematical Geosciences*. 2009. Vol. 41. P. 927–945.
4. Houlding S. Practical geostatistics: modeling and spatial analysis. Berlin : Springer, 2000. 159 p.
5. Jessell M. W., Ailleres L., de Kemp E. A., Lindsay M., Wellmann F. Next generation three-dimensional geologic modeling and inversion. *Society of Economic Geologists Special Publication*. 2014. Vol. 18. P. 261–272.

6. Karpatne A., Atluri G., Faghmous J. H. et al. Theory-guided data science: a new paradigm for scientific discovery from data. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*. 2017. Vol. 29(10). P. 2318–2331.
7. Lajaunie C., Courrioux G., Manuel L. Foliation fields and 3D cartography in geology: principles of a method based on potential interpolation. *Mathematical Geology*. 1997. Vol. 29. P. 571–584.
8. Lary D. J., Alavi A. H., Gandomi A. H., Walker A. L. Machine learning in geosciences and remote sensing. *Geoscience Frontiers*. 2016. Vol. 7(1). P. 3–10.
9. Mallet J.-L. *Geomodeling*. New York : Oxford University Press, 2002. 624 p.
10. Reichstein M., Camps-Valls G., Stevens B. et al. Deep learning and process understanding for data-driven earth system science. *Nature*. 2019. Vol. 566. P. 195–204.
11. Turner A. K. Challenges and trends for geological modelling and visualization. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 2006. Vol. 65. P. 109–127.
12. Wellmann J. F., Caumon G. 3-D structural geological models: concepts, methods, and uncertainties. *Advances in Geophysics*. 2018. Vol. 59. P. 1–121.
13. Рис. 1. Інтерпольована поверхня шляхом використання RBF. URL: <https://cdn.comsol.com/wordpress/2016/03/Surface-interpolation.png> (дата звернення: 16.03.2026).
14. Рис. 2. Інтерпольована поверхня шляхом використання Kriging з обчисленою похибкою. URL: <https://gisgeography.com/wp-content/uploads/2017/01/kriging-results.png> (дата звернення: 17.03.2026).
15. Бубняк І., Ціхонь С., Ціхонь Т., Лушак У., Бігун М. Методи побудови 3D моделей геологічних тіл (на прикладі родовища Сауляк, Закарпаття). *Вісник Львівського університету*. Серія геологічна. 2023. Вип. 37. С. 97
16. Прокопенко О., Баряцька Н., Зацерковний В. (2024). Порівняння алгоритмів каркасно-го та неявного геологічного моделювання в Micromine. *Географічний часопис Волинського національного університету імені Лесі Українки* 4, 151–160.

REFERENCES

1. Bergen, K. J., Johnson, P. A., de Hoop, M. V., & Beroza, G. C. (2019). Machine learning for data-driven discovery in solid earth geoscience. *Science*, 363(6433), eaau0323.
2. Calcagno, P., Courrioux, G., Guillen, A., Fitzgerald, D., & McInerney, P. (2008). How 3D implicit geologic modeling is changing the industry. *Oil & Gas Science and Technology*, 63(4), 537–546.
3. Caumon, G., Collon, P., Le Carlier de Veslud, C., Viseur, S., & Sausse, J. (2009). Surface-based 3D modeling of geological structures. *Mathematical Geosciences*, 41, 927–945.
4. Houlding, S. W. (2000). *Practical geostatistics: Modeling and spatial analysis*. Springer.
5. Jessell, M. W., Ailleres, L., de Kemp, E. A., Lindsay, M., & Wellmann, J. F. (2014). Next generation three-dimensional geologic modeling and inversion. *Society of Economic Geologists Special Publication*, 18, 261–272.
6. Karpatne, A., Atluri, G., Faghmous, J. H., et al. (2017). Theory-guided data science: A new paradigm for scientific discovery from data. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 29(10), 2318–2331.
7. Lajaunie, C., Courrioux, G., & Manuel, L. (1997). Foliation fields and 3D cartography in geology: Principles of a method based on potential interpolation. *Mathematical Geology*, 29, 571–584.
8. Lary, D. J., Alavi, A. H., Gandomi, A. H., & Walker, A. L. (2016). Machine learning in geosciences and remote sensing. *Geoscience Frontiers*, 7(1), 3–10.
9. Mallet, J.-L. (2002). *Geomodeling*. Oxford University Press.
10. Reichstein, M., Camps-Valls, G., Stevens, B., et al. (2019). Deep learning and process understanding for data-driven earth system science. *Nature*, 566, 195–204.

11. Turner, A. K. (2006). Challenges and trends for geological modelling and visualization. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 65, 109–127.
12. Wellmann, J. F., & Caumon, G. (2018). 3-D structural geological models: Concepts, methods, and uncertainties. *Advances in Geophysics*, 59, 1–121.
13. Bubniak, I., Tsikhon, S., Tsikhon, T., Lushchak, U., & Bihun, M. (2023). Methods for constructing 3D models of geological bodies (on the example of the Sauliak deposit, Transcarpathia). *Visnyk of Lviv University. Series Geology*, (37). [in Ukrainian].
14. COMSOL. (n.d.). Interpolated surface using RBF [Image]. Retrieved March 16, 2026, from <https://cdn.comsol.com/wordpress/2016/03/Surface-interpolation.png>
15. GISGeography. (n.d.). Interpolated surface using kriging with calculated error [Image]. Retrieved March 17, 2026, from <https://gisgeography.com/wp-content/uploads/2017/01/kriging-results.png>
16. Prokopenko, O., Baryatska, N., & Zatserkovnyi, V. (2024). Comparison of wireframe and implicit geological modeling algorithms in Micromine. *Geographical Journal of Lesya Ukrainka Volyn National University*, (4), 151–160.

EXPLICIT, IMPLICIT AND AI-BASED MODELING IN GEOLOGY: COMPARATIVE ANALYSIS AND INTEGRATION PROSPECTS

Nikita Khramov

Ivan Franko National University of Lviv, 4, Hrushevskoho Str., Lviv, Ukraine, 79005
e-mail: Nikita.Khramov@lnu.edu.ua; mantecanikita@gmail.com

Geological 3D modeling is one of the key stages in the interpretation of geophysical and geological data, enabling the creation of a three-dimensional representation of deposit structure, the size and depth of geological bodies, and the patterns of mineral distribution. In the context of rapid digitalization and the growing volume of geoscientific data, there is an increasing need to compare traditional and modern modeling approaches, particularly in terms of their effectiveness in interpreting geological research results.

This study presents a comparative analysis of explicit and implicit approaches, and also demonstrates the potential of AI algorithms (artificial intelligence algorithms) for automating and optimizing the modeling process. Special attention is given to differences in methods of interpreting geophysical and geological data, the level of geologist involvement in model construction, as well as the speed and reliability of building geological surfaces and volumetric structures.

The advantages and limitations of each approach are analyzed in the context of their application within modern geological modeling software environments (explicit modeling – Micromine, Surpac, Leapfrog Geo; implicit modeling – RBF (Radial Basis Function), Kriging, PFI (Potential Field Interpolation), Spline; AI modeling – SVM (Support Vector Machine), k-NN (k-Nearest Neighbors), Naive Bayes classifier, Gradient Boosting, Gaussian Processes, CNN (Convolutional Neural Network), LSTM (Long Short-Term Memory)).

The study substantiates the feasibility of integrating different approaches within a unified geological modeling workflow. The combination of expert geological interpretation, algorithmic surface construction methods, and artificial intelligence tools improves the accuracy of geological models, reduces modeling time, and enhances the prediction of geological object locations. Such an integrated approach is considered a promising direction for the development of digital geology and 3D geological modeling of mineral deposits.

Key words: geological modeling, explicit modeling, implicit modeling, artificial intelligence, AI-based modeling, three-dimensional geological models, geological data interpretation, mineral deposit modeling.

Дата першого надходження статті до видання: 19.01.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 23.03.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026

УДК 553.048

DOI <https://doi.org/10.30970/vgl.40.10>

АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОВЕДЕННЯ РОЗШИРЕННОГО КОМПЛЕКСУ ГЕОЛОГО-ГЕОХІМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ГЕОНАВІГАЦІЇ ПРИ БУРІННІ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ СВЕРДЛОВИН

Лев Ємець

*Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. М. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005
e-mail: Lev.emets11@gmail.com*

Геолого-геохімічні та технологічні дослідження в процесі буріння (mudlogging або газовий каротаж) був запроваджений як комерційна послуга у 1939 році. Ця послуга забезпечує безперервний технологічний контроль параметрів буріння, виявлення та оцінку шламу гірських порід оперативного під час буріння, з метою їхньої кореляції та визначення потенціалу видобутку вуглеводнів. Якісні методи отримання цих даних та їх подальша оцінка є надзвичайно важливими факторами у пошуково-розвідувальному та експлуатаційному бурінні. Необхідності та ефективності набуває буріння горизонтальних ділянок свердловин.

Горизонтальна ділянка свердловини пробурюється на певну глибину в цільовому пласті, що збільшує площу контакту з нафтогазовим пластом. Основною метою горизонтальної свердловини є збільшення видобутку нафти та газу або підвищення коефіцієнта видобутку нафти та газу. З розвитком горизонтальних свердловин сланцевого газу, розвитком технологій буріння та попитом на більш точний аналіз колектора, а також попитом на підвищення якості, ефективності та зниження витрат, інтеграція моделей горизонтального буріння набуває поширення. Газовий каротаж, поелементний склад порід та геонавігація є невід'ємною ланкою досліджень при бурінні і ґрунтуються на нафтогазовій геології. Викладено розвиток кожного аспекту та проаналізовано зв'язки між ними в практичному застосуванні з метою внеску у розвідку та розробку нафтогазових родовищ.

Ключові слова: горизонтальна свердловина, газовий каротаж, геонавігація, елементи.

Постановка проблеми. Під час буріння горизонтального стовбуру основним технічним інструментом залишається аналіз у реальному часі за допомогою комбінації даних вибуреної породи (шламу), часу буріння, аналізу щільних карбонатних порід, поелементного аналізу, виявлення вуглеводневого газу та даних супутнього каротажу (MWD та LWD), з урахуванням нахилу пласта, орієнтації пласта, варіації товщини цільового горизонту та якості свердловини. В процесі досліджень на ділянці горизонтального стовбуру проводиться реєстрація технологічних та геохімічних параметрів в режимі реального часу з паралельним виводом цих онлайн на буровій для інженерного складу та офіс. У процесі буріння свердловини проводиться реєстрація технологічних параметрів буріння і їх обробка, вмісту та складу вуглеводнів в буровому розчині, аналіз шламу вибуреної породи. Літологічне розчленування порід здійснюється в основному по детальному механічному каротажу (ДМК), аналізу складу газу в буровому розчині і дослідженню шламу. На ділянці горизонтального стовбуру проводяться деталізовані геолого-геохімічні дослідження із залученням додаткового обладнання. Зразки шламу в процесі буріння відбираються кожні

© Ємець Л., 2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

10 м в непродуктивній частині, через кожні 3 м в продуктивній частині, та через 1 м в продуктивних пластах (з підвищеними газопоказами), через 2 м в горизонтальному стовбурі у зв'язку з високою швидкістю розкриття розрizu.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. При замовленні послуг на виконання геолого-технологічних та геолого-геохімічних досліджень (ГТГД) формується технічне завдання з переліком проведення необхідних досліджень по конкретній свердловині, із конкретними задачами. Зазвичай це стандартні дослідження в технічній і геологічній частині, які застосовуються при бурінні вертикальних та похило-скерованих свердловин. Але в горизонтальних свердловинах підхід до досліджень має бути більш розширений і повноцінний, оскільки по стовбуру притаманна мінливість у фільтраційно-ємнісних характеристиках колектора. Розширений комплекс досліджень допоможе визначитись із інтервалами вторинного розкриття (перфорацією) в більш ефективних зонах пласта і запроєктувати найбільш ефективні інтервали проведення гідророзриву пласта (ГРП). Тому обов'язково, перед початком робіт, у технічному завданні мають зазначатись і, в подальшому, виконуватись методи рентгенівської дифракції (XRD) та рентгенівської флуоресценції (XRF) часто називають каротажем XRD або XRF. Відбір проб пластового газу під час буріння без зупинки реєстрації газопоказів у ємності IsoTube або аналоги. Проби газу відбираються під час буріння тільки з пластового газу. В комплексі: проведення детального поелементного аналізу та геонавігація.

Мета. Геологічне закладання горизонтальних свердловин базується на сейсмічних, геофізичних, результатів сусідніх свердловин та інших даних, з метою моніторингу і моделювання структури пластів і колекторів. Тому дуже важливо підійти до комплексного аналізу проведення досліджень, де прогнозування відбувається в режимі реального часу. Ефективність такого комплексу: коригування траєкторії свердловини, повідомлення про коригування траєкторії свердловини в режимі реального часу команді буріння, наведення траєкторії свердловини для точного виходу в конкретний пласт, підтримання буріння горизонтальної ділянки до завершення контрольного процесу, безпосередньо впливає на ефективність буріння горизонтальних свердловин. В доповнення, якісні геолого-геохімічні дослідження, включаючи поелементний аналіз шламу і газовий каротаж підвищують результативність отримання вуглеводнів і сприяє формуванню вичерпної геологічної інформації, а також швидкий аналіз, точна оцінку та інтерпретацію на наявність вуглеводнів.

Вирішення актуальних проблем. Тільки комплексні дослідження сприяють ефективності отримання результату.

Геофізичні та геолого-геохімічні дослідження. Одним із ключових завдань каротажу є аналіз та узагальнення даних літології, структури, пластовому тиску, фільтраційно-ємнісними характеристиками шляхом порівняння з сусідніми свердловинами та структурою блоку, а також з'ясування статичних і динамічних умов у свердловині та надання надійних і ефективних рекомендацій зацікавленим сторонам. Це дозволяє спокійно керувати процесом буріння та забезпечити безпечне виробництво, ставлячи за мету контролювану безпеку управління свердловиною. Консолідувати інформацію по технології буріння своєчасно отримуються відповідні дані про свердловину і швидко аналізуються, упереджуючи газопроявлення та вживання заходів для підвищення ефективності буріння [1]. Для отримання надійних даних про радіоактивні породи використовуються спеціальні методи, в останні роки швидко розвивається поелементний каротаж [2]. Методи каротажу за допомогою рентгенівської дифракції (XRD) та рентгенівської флуоресценції (XRF) часто називають каротажем XRD або XRF. XRD використовує принцип дифракції для безпосереднього визначення наявності у зразках шламу доломіту, кальциту, кварцу, калієвого польового шпату, плагіоклазу, піриту. XRF прилад стимулює енергію зразків шламу,

опромінюючи їх рентгенівським променем, що дозволяє аналізувати специфічні енергетичні та хвильові характеристики елементів для Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, Cd, In, Sn, W, Pb, Th, U, Ba (35 елементів) для визначення частки, відносного вмісту та розподілу хімічних елементів у зразках. Енергію та інтенсивність гамма-випромінювання вимірюють за допомогою спектрометрії природного гамма-випромінювання.

Вміст U, Th, K та потужність гамма-випромінювання визначають на основі спектрального аналізу. Ці дані можна використовувати для розрахунку вмісту сланцю, виявлення колекторів з високою природною гамма-активністю та оцінки материнських порід. Елементний та природний гамма-каротаж дозволяє ідентифікувати літологічні особливості пластів за змінами вмісту різних елементів у зразках бурового шламу. Він дозволяє ефективно аналізувати дрібний або навіть порошкоподібний чи змішаний шлам, який важко ідентифікувати, розпізнати та описати, і стає більш точним засобом ідентифікації літології та поділу стратиграфічних сегментів. Аналіз осадового середовища та вмісту органічної речовини в материнських породах за типами порід забезпечує підтримку умов накопичення вуглеводнів та кількісну оцінку вуглеводневих ресурсів. $TOC=f(U)$, вміст (глини/кварцу/польового шпату/кальциту/доломіту/піриту) = $f(Mg, Al, Si, K, Ca, Fe, S)$, вміст газу = f (сумарні вуглеводні, час буріння) тощо.

Поелементний каротаж є розвитком технології каротажу шляхом більш детального аналізу уламків гірських порід на основі каротажу уламків гірських порід, і елементи відіграють більш сприятливу роль у підтримці геологічного керування для контролю траєкторії свердловини [3–4].

Геонавігація. Концепція геонавігації була вперше запроваджена компанією Ana Drill у 1992 році, а перший каротажний прилад, спеціально розроблений для геонавігації, з'явився у 1993 році. Наразі три провідні нафтосервісні компанії – Schlumberger, Halliburton та Baker-Hughes – контролюють передові технології каротажу під час буріння (LWD) [5]. Прилади MWD (Measure While Drilling) та LWD (Logging While Drilling) використовуються для вимірювання даних MWD (нахил свердловини, азимут та температура пласта) та даних LWD (гамма-випромінювання, питомий опір та щільність) з метою отримання конкретних параметрів траєкторії свердловини та інформації про пласт для відповідної глибини свердловини та інформації про пласт на відповідній глибині свердловини.

Основна мета геонавігації полягає в тому, щоб точно розрахувати вхід в пласт та утримати горизонтальне буріння в цільовій зоні, за умов невизначеності стратиграфічних факторів, для чого попереднє проектування (профіль свердловини і розрахунок горизонтальної ділянки) є основою та необхідною передумовою. Прилади навігації беруть на себе керування від точки нахилу і до точки з відповідними електричними характеристиками, розташованої над цільовим об'єктом, відповідно до запланованої траєкторії свердловини, збільшуючи кут, коригуючи вертикальну глибину в режимі реального часу та оптимізуючи траєкторію свердловини в режимі реального часу. Регулювання також базується на комплексному аналізі даних каротажу гірських порід у реальному часі – гама каротаж, часу буріння, аналізу карбонатності, поелементного аналізу, відображення вуглеводневого газу та даних подальшого каротажу (MWD, LWD), порівнянні даних сусідніх свердловин, особливо стандартних електричних характеристик. Під час буріння горизонтального відрізка основним технічним інструментом залишається аналіз у реальному часі за допомогою комбінації даних по шламу, часу буріння, аналізу карбонатних порід, поелементного аналізу [6], виявлення вуглеводневого газу та даних супутнього каротажу (MWD та LWD), з урахуванням кута нахилу пласта, орієнтації пласта, варіації товщини цільового тіла та якості стовбура свердловини.

Висновки та перспективи. Геолого-геохімічні та технологічні дослідження в процесі буріння дозволяють збирати та аналізувати різноманітну геологічну інформацію, забезпечуючи при цьому безпеку свердловини, а також проводити професійне дослідження властивостей гірських порід і характеристик пластів для всебічного аналізу і в комплексі з іншими методами інтерпретації стану та структури розподілу вуглеводневих ресурсів.

Через невизначеність геологічних та тектонічних факторів, таких як мінливість потужностей, зміни кута нахилу, тектонічні порушення, малопотужні неоднорідні колектори, з метою точного доступу до цільового об'єкта та проходки горизонтального відрізка в ньому, технологія геонавігації стає гарантією отримання комплексних переваг буріння горизонтальних свердловин. При цьому вирішуються геологічні, технологічні, науково-дослідні задачі:

а) геологічні задачі:

- оперативне літолого-стратиграфічне розчленування розрізу;
- визначення характеру насичення пластів-колекторів;
- оцінка фільтраційно-ємнісних властивостей пластів-колекторів;
- виявлення реперних горизонтів;

б) технологічні задачі:

- раннє виявлення газонафтопроявів і поглинень під час буріння;
- розпізнавання та визначення тривалості технологічних операцій;
- вибір і підтримування раціонального режиму буріння;
- контроль гідродинамічних тисків у свердловині;
- діагностика передаварійних ситуацій у реальному масштабі часу.

Результатом є комплексна геолого-геохімічна інтерпретація рентгенофлуорисцентного (XRF) аналізу шламу та інтеграція з коротажними даними, даними газового каротажу: хеостратиграфія; хемо-літостратиграфічна кореляція; мінералогічне та літологічне моделювання; фаціальний аналіз; розширене мінералогічне моделювання; індекс відносної крихкості порід; синтетичний ГК на основі рентгенофлуорисцентного аналізу; синтетичний RHOMatrix на основі рентгенофлуорисцентного аналізу. Такого роду дослідження в комплексі з геонавігацією дають ефективні результати горизонтального буріння, що є фактом збільшення видобутку вуглеводнів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Jing Yong, Bai Shengping, Zhao Shubin, et al. Application of compound logging technology in drilling engineering. *Oil Drilling & Production Technology*, 2009, 31(S2),79–04.
2. Qi Zhenqing, Zhou Fengyan, Jiang Ping, and Chen Daihou. Geosteering functions of mud logging in horizontal wells. *Mud Logging Engineering*, 2013, 24(4), 7–10, 23.
3. Ye Xingshu. Application of X-Ray Fluorescence element logging in SD Oilfield [J]. *Marine Geology Frontiers*, 2017. 33(2), 56–59.
4. Tang Cheng, Wang Zhizhan, Chen Ming, et al. Accurate Geosteering Technology for Deep Shale Gas Based on XRF Element Mud Logging. *Petroleum Drilling Techniques*, 2019, 47(6), 103–110.
5. Wang Jingjing. Research of Control system of Bldcm for the logging with Drilling [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2012.
6. Li Ang, Yuan Zhihua, Zhang Yuqing, et al. The application of elemental logging technology in the exploration of the shale gas field of Peiling [J]. *Natural Gas Exploration and Development*, 2015. 38(2), 23–26.

REFERENCES

1. Jing Yong, Bai Shengping, Zhao Shubin, et al. (2009). Application of compound logging technology in drilling engineering. *Oil Drilling & Production Technology*, 31(S2), 79–04.

2. Qi Zhenqing, Zhou Fengyan, Jiang Ping, and Chen Daihou. (2013). Geosteering functions of mud logging in horizontal wells. *Mud Logging Engineering*, 24(4), 7–10, 23.
3. Ye Xingshu. (2017). Application of X-Ray Fluorescence element logging in SD Oilfield [J]. *Marine Geology Frontiers*, 33(2), 56–59.
4. Tang Cheng, Wang Zhizhan, Chen Ming, et al. (2019). Accurate Geosteering Technology for Deep Shale Gas Based on XRF Element Mud Logging. *Petroleum Drilling Techniques*, 47(6), 103–110.
5. Wang Jingjing. (2012). Research of Control system of Bldcm for the logging with Drilling [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology,
6. Li Ang, Yuan Zhihua, Zhang Yuqing, et al. (2015). The application of elemental logging technology in the exploration of the shale gas field of Peiling [J]. *Natural Gas Exploration and Development*, 38(2), 23–26.

THE RELEVANCE OF CONDUCTING AN EXTENSIVE SET OF GEOLOGICAL AND GEOCHEMICAL STUDIES AND GEO-NAVIGATION DURING THE DRILLING OF HORIZONTAL WELLS

Lev Yemets

Ivan Franko National University of Lviv, 4, Hrushevskoho Str., Lviv, Ukraine, 79005
e-mail: Lev.emets11@gmail.com

Geological, geochemical, and engineering studies during the drilling process (mudlogging or gas logging) were introduced as a commercial service in 1939. This service provides continuous monitoring of drilling parameters, as well as the rapid identification and evaluation of rock cuttings during drilling, with the aim of correlating them and determining hydrocarbon production potential. High-quality methods for obtaining this data and its subsequent evaluation are extremely important factors in exploration and production drilling. The drilling of horizontal well sections is becoming increasingly necessary and effective.

A horizontal well section is drilled to a specific depth in the target formation, which increases the contact area with the oil and gas reservoir. The primary objective of a horizontal well is to increase oil and gas production or improve the oil and gas recovery factor. With the development of horizontal shale gas wells, advancements in drilling technologies, and the demand for more accurate reservoir analysis, as well as the need to improve quality, efficiency, and reduce costs, the integration of horizontal drilling models is becoming widespread. Gas logging, rock element composition, and geonavigation are integral components of drilling research and are grounded in oil and gas geology. The development of each aspect is outlined, and the relationships between them in practical application are analyzed to contribute to the exploration and development of oil and gas fields.

Key words: horizontal well, gas logging, geosteering, elements.

Дата першого надходження статті до видання: 25.01.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 23.03.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026

UDC 555.2+72.03

DOI <https://doi.org/10.30970/vgl.40.11>

OLD RED DEVONIAN SANDSTONES IN THE ARCHITECTURE OF LVIV: KEY HISTORICAL STAGES AND APPLICATION FEATURES

Danylo Borniak <https://orcid.org/0009-0008-7028-7381>

Iryna Poberezhska <https://orcid.org/0000-0001-5020-8326>

Kateryna Borniak <https://orcid.org/0009-0008-7147-4488>

*Ivan Franko National University of Lviv, 4, Hrushevskoho Str., Lviv, Ukraine, 79005
e-mail: Danylo.Borniak@lnu.edu.ua; iryna.poberezhska@lnu.edu.ua; 18kbr18@gmail.com*

This study identifies the principal stages and characteristics of the use of old red devonian sandstones within the architectural environment of Lviv. It has been established that in the 16th–18th centuries, owing to complex logistics and the specific physico-mechanical properties of the rock, its application was limited and strictly pragmatic – serving primarily to reinforce architectural elements subjected to maximum mechanical load (such as stair flights and thresholds). The combination of red-coloured sandstone with light local limestone is examined, whereby the former provided a durable load-bearing base and protection of structures from moisture and contamination, while the latter served as the principal material for wall construction and the execution of carved decorative elements. Particular attention is devoted to the turn of the 19th–20th centuries, when the advent of railway transport and the transition to industrial-scale extraction transformed red-coloured sandstone into a primary material for the realisation of architectural concepts. The stone became the basis of polychromatic façades and subsequently functioned as a protective cladding layer for reinforced concrete structures of modernism. In the memorial stonework of Lychakiv Necropolis of this period, it became a widespread—and in some cases predominant—material for monolithic crosses, stelae, and funerary structures, demonstrating the exceptional durability of carved forms and inscriptions. During the Soviet period, the dominant trend was a transition to the industrial production of paving slabs and cladding elements. Despite the standardisation of products, the widespread use of this material in public spaces contributed to the preservation of the natural stone texture within the urban environment and established Terebovlia sandstone as an integral component of Lviv's architectural identity. It is demonstrated that the evolution of the use of red-coloured sandstones from Devonian deposits progressed from a localised engineering solution to a large-scale architectural strategy, in which the key determining factors were the physico-mechanical properties, logistical accessibility, and decorative potential of the material.

Key words: architecture of Lviv, building stone, Terebovlia sandstone, building stone deposit, Old Red Sandstone.

Problem Statement. Red-coloured sandstones of Devonian age, known as the "Terebovlia sandstone" or the Old Red Sandstone, are characterised by a long history of use in the architecture of Lviv. Stone material was sourced from the quarries of the villages of Zastinoche and Budaniv near Terebovlia, which serve as reference sites both in terms of the geological structure of their sections and from the perspective of the historical continuity of quarrying activity [4]. Since the princely era, these centres have functioned as the principal sources



of building stone for the construction of fortresses and defensive structures surrounding strategically important sites that formed the protective belt of the region. The flourishing of Lviv's architecture in the 18th century, driven by post-war reconstruction, active patronage by the nobility, and the incorporation of Western European experience, marked the beginning of the widespread use of red-coloured Devonian sandstones by master architects [6]. Despite the evolution of technological approaches to processing methods, scales of application, and volumes of extraction across different historical periods, the use of red-coloured sandstone in the city's construction practice has remained an enduring historical tradition.

Notwithstanding the existence of a number of studies devoted to the use of this material within Western Podillia, its role in the architecture of Lviv remains insufficiently explored.

Analysis of Research and Publications. The performance properties of building stone are determined by a complex of physico-mechanical parameters, among which the key indicators include compressive strength (under varying moisture conditions), wear resistance, and toughness, as well as characteristics of density, porosity, and resistance to abrasion and cyclic freezing. The construction suitability of Lower Devonian red-coloured sandstones is determined by their high physico-mechanical properties, namely strength, frost resistance, and low water absorption. From a lithological perspective, these are homogeneous, massive quartz-mica, very fine- to fine-grained rocks with a broad colour spectrum (ranging from grey to brownish-red) which, at a bulk density of 2.3-2.5 g/cm³, demonstrate a significant range of compressive strength (430-1800 kg/cm²). These sandstones were quarried in the southern regions of Ternopil Oblast, in the vicinity of the towns of Terebovlia, Chortkiv, Buchach, and Zalishchyky [8].

The earliest written evidence of the systematic exploitation of red-coloured sandstone deposits is recorded in the Terebovlia municipal records of 1430, where the Zastinoche quarry is mentioned as an active site of stone extraction [4]. In subsequent historical periods-particularly during Austrian and Polish administration-the quarries were under the direct jurisdiction of the Terebovlia city magistrate, indicating their considerable economic importance for the urban economy and local governance. Evidence of the high level of organisation in extraction activities is provided by the building of the quarry's administrative office, which has been preserved in the centre of the village of Zastinoche to the present day and constitutes a notable historical and cultural asset as a monument of the region's industrial administration [4].

The use of red-coloured sandstone of Terebovlia origin in construction practice encompasses three defining historical periods:

– Fortification period (the princely era – 17th century). The application of red-coloured sandstone in defensive construction covers a considerable chronological span. This rock, either used exclusively or in combination with other stone materials, was employed in the construction of fortifications across a number of castle complexes in the region. The walls of Terebovlia Castle, erected in the 1630s, represent the most thoroughly studied example; however, there are grounds to suggest that this material had already been used in the construction of the castle church of the Old Rus' castle of the 9th-10th centuries, as well as the stone fortress of 1360 [5]. Other notable sites include: Budaniv Castle (early 17th century) [1]; Mykulyntsi Castle (construction initiated in 1550); the castle in Pidzamochoch (ruins of a structure dating to 1600); the castle in Zolotyi Potik (early 17th century); and Yazlovets Castle-a defensive-residential complex (castle and palace) dating from the 14th to 17th centuries [7]. Constructed from local sandstone, the walls of these fortifications withstood numerous sieges and military trials; however, not all have survived to the present day, as some complexes have suffered significant deterioration due to neglect and human indifference.

– Industrial expansion (Austro-Hungarian period). In the 18th century, the quarries were owned by the community of the town of Terebovlia; extraction was organised along guild lines,

while the principal demand was generated by the Church and the nobility. In the 19th century, the exploitation of "Terebovlia sandstone" acquired a systematic character: the defensive paradigm gave way to the era of industrial capitalism and monumental architecture. An analysis of extractive activities during this period indicates the transformation of the Zastinoche and Budaniv quarries from local sources of building material into a major export hub of the Austro-Hungarian Empire, with stone being supplied to Kraków and Vienna. A telling indicator of the administrative scale of operations at that time is the quarry office building in the village of Zastinoche: this institution functioned as a dispatch centre, cash office, and technical control point; each block was marked, and the quality of the stone was assessed in accordance with imperial standards [4].

– Period of architectural modernism (20th century – present). Sandstone became an architectural "face" of Ternopil and Lviv. Its application extended to façade cladding, the production of monumental sculpture and memorial stonework, as well as the paving of streets and pavements, demonstrating a high suitability for fine processing. The transition from 19th-century eclecticism to early 20th-century modernism and functionalism marked a true triumph for this material. Whereas previously the stone had often been concealed beneath plaster or used primarily for ornate decoration, modernism brought it to the forefront as a self-sufficient aesthetic element. Sandstone was widely employed in the cladding of banks, postal institutions, and government buildings, symbolising reliability and stability. Notably, while in the 18th century it had been regarded as a "cheap substitute for marble", in the 20th century it attained the status of an elite material, emphasising local identity and the prestige of architectural objects [3].

Aim of the Study. The present study aims to trace the patterns and evolution of the use of red-coloured Devonian sandstones in the architectural structures of Lviv across different historical periods.

Given that this research lies at the intersection of geology, history, and architecture, a comprehensive interdisciplinary approach has been employed, encompassing three groups of methods. Geological methods include macroscopic analysis—namely, the study of the textural and structural features of sandstones based on field investigations of samples from both deposits and architectural objects. Historical and archival methods were implemented through a retrospective approach aimed at reconstructing the evolution of extraction practices. Architectural-typological methods involved *in situ* examination of objects in order to analyse the characteristics of stone use and its state of preservation within the historic fabric of Lviv.

Presentation of the Main Material. In the 13th–17th centuries, construction in Lviv relied exclusively on the local raw material base. The transportation of heavy Terebovlia sandstone over distances exceeding 100 km was considered economically and technically impractical, which determined the dominance of local lithologies in the construction practice of the city during this period.

Terebovlia sandstone appeared in Lviv's architecture significantly later than local stone materials, serving as evidence of both technological pragmatism and a degree of luxury that became feasible only after the stabilisation of logistical routes and the recognition of a critical need for materials with high abrasion resistance. In the 1730s, the architectural milieu of Lviv entered a phase of late Baroque flourishing, driven by post-war stabilisation and reconstruction under conditions of intensive patronage by magnate families. The socio-economic recovery of the city following a period of military devastation created favourable conditions for the creative expansion of European masters. Intense competition in the leading capitals of Europe encouraged a younger generation of architects, sculptors, and artists to seek new arenas for professional realisation, with Lviv emerging as a significant centre of attraction. The large-scale construction of both sacred and secular buildings not only transformed the urban space but also stimulated

the development of local schools of sculptural arts and monumental painting. During this period, local limestone remained the dominant building material for wall construction. By contrast, red-coloured sandstone from Devonian deposits was used in an extremely pragmatic and selective manner-exclusively in those structural components where high resistance to mechanical wear was required. The mineralogical composition and structural characteristics of this rock determine its hardness, which is an order of magnitude greater than that of limestone. In buildings with heavy foot traffic-such as churches and guild houses-limestone stair treads would have been subject to significant abrasion over several decades of use. Consequently, the functional zones of sandstone application were stair flights and portal thresholds, i.e., elements subjected to maximum mechanical load. The use of this rock in these structural positions constituted a purely engineering solution dictated by the objective physico-mechanical properties of the material.

In the period under study, the technology of large-scale sawing of hard sandstone was not yet available; instead, the method of "wedge splitting" was employed. In a monolithic rock mass, a series of indentations ("slots") were carved using chisels, into which dry wooden wedges were driven and subsequently moistened. The expansion of the wood under the influence of moisture generated a directed fracture along the plane of least resistance. Stair treads and thresholds were shaped directly at the quarry using heavy stonemasons' hammers and punches, primarily in order to reduce the weight of the block prior to transportation. Thus, a semi-finished product with a technological allowance for final polishing was delivered to Lviv, where the surface treatment was completed at the installation site.

According to measurements of historical structures-particularly historic townhouses on Market Square (Rynok Square) – thresholds and lower stair treads are characterised by a thickness ranging from 20 to 35 cm, which ensures their structural stability. The working surfaces were treated using the technique of point dressing (bush-hammering), which produced a rough texture preventing slipping under the damp conditions typical of Lviv's streets. The morphology of these elements is marked by laconic simplicity-predominantly rectangular forms with minimal chamfering-explained by the exceptional hardness of the rock and the limited capabilities of stonemasonry tools of the time. In ecclesiastical architecture, the rounded configuration of steps functioned as an additional element of sculptural expression, signifying the elite character and special purpose of the building.

The logistical component exerted a significant influence on the economics of material use: the cost of transporting a single massive threshold from the Terebovlia region to Lviv could equal the extraction cost of 10-15 comparable blocks of local limestone. Stone was ordered well in advance-often a year prior to the planned construction-and transportation was typically scheduled for the winter season ("winter road"), when the frozen ground could bear the considerable weight of loaded carts without the risk of their becoming bogged down.

The white limestone of the Lviv outskirts-soft and inherently porous-served as the principal material for wall construction and the execution of fine decorative carving. Red sandstone, by contrast, hard and ferruginous in composition, marked zones of maximum mechanical load. This functional differentiation generated a distinctive architectural effect: red sandstone in thresholds, stair flights, and plinth zones formed a "grounded", heavy base of the structure, visually anchoring it within the urban space. In contrast, the lighter limestone blocks of the upper tiers appeared more elevated and upward-oriented, creating a sense of vertical dynamism.

With the development of the Baroque and subsequently Classicism, the combination of red sandstone with white limestone evolved into a deliberate architectural device. The reddish, brownish, and occasionally terracotta hues of the sandstone entered into a natural harmony with the yellowish-white tonality of the limestone, producing the effect of a warm, vibrant façade even under the characteristically overcast conditions of Lviv's climate.

Notably, the temporal factor further enriched this chromatic dialogue: limestone gradually acquires a dark grey patina, while sandstone, under prolonged exposure to atmospheric moisture, develops a deep cherry tone. Over the decades, the initial sharp contrast between white and red diminished, giving way to a more restrained yet significantly more refined and expressive chromatic relationship-evidence of the authentic ageing of materials and an integral component of the city's architectural patina.

Within the framework of this study, modelling of the material's chromatic transformations was conducted on a case-study object-the portal of the Church of the Most Holy Eucharist (Dominican Cathedral) of the 18th century in Lviv. A visual reconstruction of the probable original colouring of the stone at the time of the building's construction was carried out and compared with its present state of preservation (Fig. 1).



Fig. 1. Portal of the Church of the Most Holy Eucharist in Lviv: (a) present condition; (b) reconstruction of the probable original colouring of the stone

In the 19th and early 20th centuries, Terebovlia sandstone transcended its purely utilitarian function and evolved into a principal medium for conveying architectural ideas, stylistic expression, and the emotional image of a structure. This qualitative transformation was driven by three interrelated factors: the inauguration of the railway link to Terebovlia in 1896, which reconfigured the logistics of stone supply; the spread of a preference for exposed masonry in Neo-style architecture; and the transition to industrial-scale extraction in the quarries of Zastinoche and Budaniv. During this period, architects turned to red sandstone as a material capable of articulating ideas of historical continuity and monumental solidity. Instead of the traditional practice of plastering and painting surfaces, façades were composed through the juxtaposition of naturally coloured materials-Terebovlia red sandstone in combination with yellow brick or white limestone created an effect of "natural painting" (polychromy), where chromatic expressiveness was achieved through the inherent texture and tonality of the stone itself. A vivid example is the building of the Scientific

and Technical Library of Lviv Polytechnic National University, constructed in the early 20th century in the Neoclassical style.

The advent of reinforced concrete fundamentally altered the structural role of stone: sandstone lost its function as a load-bearing material, yet retained-and indeed reinforced-its significance as a protective cladding element. Thin sandstone slabs served as an effective barrier against atmospheric moisture for concrete structures, while simultaneously imparting to the "cold" and impersonal modernist building the appearance of a costly, durable architectural object with a distinct material identity.

From the mid-19th century onwards, under conditions of Austrian modernisation of Lviv, an urgent demand arose for a durable material for paving pedestrian walkways, as local limestone proved incapable of withstanding the intensive abrasive loads of urban foot traffic. The industrial scale of extraction in the quarries of the Terebovlia region enabled the serial production of slab materials in standardised formats. The most common dimensions were 60×60 cm, 80×80 cm, and large-format modules of 100×120 cm. The thickness of the elements ranged from 8 to 15 cm, ensuring exceptional structural stability under dynamic loads. To prevent slipping, the working surface of the slabs was treated using techniques of scoring or rough dressing, producing a characteristic microrelief-a rough texture that persisted for decades of intensive use despite the gradual surface wear of the stone.

The Soviet period (1944-1991) was marked by industrial standardisation in the use of Terebovlia sandstone. Whereas in the modernist era it had retained an elite status, during the Soviet period it was transformed into a strategic raw material for mass construction and ideological monumentalism. The material was widely used for paving urban walkways, and the majority of park staircases, parapets, and retaining walls in Lviv constructed during the 1950s-1970s were executed in Terebovlia stone, owing to its low cost and high durability. A distinct sphere of application was memorial monumentalism: sandstone served as the material for monuments to liberating soldiers and Soviet memorial complexes, where its massiveness and natural texture contributed to an image of endurance and "eternal memory". In the 1970s-1980s, the rock was also extensively employed for the interior cladding of vestibules in cinemas, hotels, railway stations, and cultural centres.

In essence, the Soviet period desecralised "Terebovlia sandstone", rendering it a widely accessible and mass-used material. However, this very circumstance enabled it to retain its role as the principal building stone of the region, preventing concrete from completely displacing the natural stone texture from the urban environment.

The memorial sculpture of Lychakiv Necropolis represents the highest artistic expression of the potential of red-coloured Devonian sandstone [2]. Here, stone from the quarries of Zastinoche and Budaniv transcended its purely constructional function and acquired the status of a bearer of historical memory. The high monolithic character and homogeneity of the blocks of red-coloured sandstone from Devonian deposits enabled the production of massive crosses from a single piece of stone-without joints or connections-testifying both to the technological maturity of the stonemasonry craft and to the exceptional physico-mechanical properties of the rock (Fig. 2a). A distinct group of memorial forms in this material comprises funerary stelae-vertically oriented stone slabs with relief decoration or epitaphs (Fig. 2b). The necropolis abounds in monumental tombs in which sandstone serves as the principal structural material: large dressed ashlar blocks from Zastinoche formed the load-bearing basis of burial vaults, ensuring the geometric stability of the structures over decades (Fig. 2c). Owing to the fine-grained structure of the rock, inscriptions on sandstone could be carved significantly deeper and more precisely than on limestone, retaining legibility even after prolonged atmospheric weathering.



a



b



c

Fig. 2. The memorial sculpture of Lychakiv Necropolis

The use of red sandstone in memorial stonework established a distinctive visual rhythm within the necropolis. The rich reddish tone of the stone was perceived as restrained and monumental, and was therefore traditionally selected for the burials of military figures, political leaders, and members of the clergy. "Terebovlia sandstone" endowed Lychakiv Necropolis with the structural durability that has enabled the ensemble to survive to the present day. Its role in

this context did not lie in the imitation of living forms through sculptural means, but rather in the affirmation of eternity through the steadfastness of the material itself.

Conclusions and Recommendations. The evolution of the use of red-coloured Devonian sandstones in the architecture of Lviv represents a consistent trajectory of transformation—from a purely pragmatic "technical" material to a leading aesthetic accent of the modern city. At the initial stage, the high cost of logistics and the difficulty of processing hard rock limited its application to stair flights and portal thresholds—structural elements subjected to maximum mechanical load. With the introduction of railway connections and the mechanisation of quarrying, red-coloured sandstones became an accessible mass material, marking their "emergence onto façades" within urban development. By the early 20th century, the rock had firmly established itself as a means of artistic expression of texture and colour in architectural compositions. In parallel, it secured its place in the memorial stonework of Lychakiv Necropolis as an ideal material for monolithic crosses, stelae, and funerary structures, demonstrating the exceptional durability of carved forms and inscriptions. The Soviet period was characterised by a transition to the mass production of cladding slabs and paving elements for public spaces which, despite the standardisation and desacralisation of the material, enabled the preservation of the natural stone texture within the urban environment and consolidated Terebovlia sandstone as an integral component of Lviv's architectural identity.

BIBLIOGRAPHY

1. Бойко В. Буданівський замок. Тернопільський енциклопедичний словник / редкол.: Г. Яворський [та ін.]; Тернопіль: видавничо-поліграфічний комбінат «ЗБРУЧ», 2010. Т. 4. С. 81.
2. Гавришкевич І. Личаківський некрополь: сторінки антропології пам'яті. *Вісник ЛНАМ*. 2019. Вип. 41. С. 19–24.
3. Гетьманчук С. Камінь у мистецькому оздобленні репрезентативних приміщень громадських будівель Львова другої половини XIX ст. *Вісник ЛНАМ*. 2019. Вип. 41. С. 38–45.
4. Книш І., Кремінь Н. Застіноченське та Буданівське родовища пісковика – потенційні геотуристичні об'єкти тернопільської області. *Вісник Львівського університету. Серія геологічна*. 2021. Вип. 35. С. 111–126. DOI: <http://dx.doi.org/10.30970/vgl.35.09>
5. Ковальчук М. Теребовлянський замок. Історична розвідка. Львів : Камінь, 1997.
6. Лильо О. Діяльність будівничих Львова першої половини XVIII ст. в контексті європейських зв'язків: особливості формування і розбудови. *Artes Almanac*. 2021. 19 лист. URL: <https://art-es-almanac.com/dialnist-budivnychykh-lvova-ppol18st/> (дата звернення: 10.03.2026).
7. Липа К. Язловецький замок. Енциклопедія історії України / редкол.: Смолій, В. А. [та ін.]; Інститут історії України НАН України, 2013. Т. 10. С. 729.
8. Тернопільщина: цілі і потенціал сталого природокористування: монографія / Л. Царик, І. Барна, Ю. Гайда [та ін.]; Тернопіль: СМП «Гайп», 2016. 498 с.

REFERENCES

1. Boiko, V. (2010). Budanivskyi zamok [Budaniv Castle]. In H. Yavorskyi et al. (Eds.), *Ternopil'skyi entsyklopedychnyi slovnyk* [Ternopil Encyclopedic Dictionary] (Vol. 4, p. 81). Zbruch.
2. Navryshkevych, I. (2019). Lychakivskyi nekropol: storinky antropologii pam'яти [Lychakiv Necropolis: Pages of the anthropology of memory]. *Visnyk LNAM*, 41, 19–24.
3. Hetmanchuk, S. (2019). Kamin u mystetskomu ozdoblenni reprezentatyvnykh prymyshshen hromad'skykh budivel Lvova druhoi polovyny XIX st. [Stone in the artistic decoration of representative premises of public buildings in Lviv in the second half of the 19th century]. *Visnyk LNAM*, 41, 38–45.

4. Knysh, I., & Kremin, N. (2021). Zastinochenke ta Budanivske rodovyshcha piskonyku – potentsiini heoturystychni obiekty Ternopilskoi oblasti [Zastinoche and Budaniv sandstone deposits as potential geotourism sites of Ternopil region]. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Seriya heolohichna*, 35, 111–126. <https://doi.org/10.30970/vgl.35.09>
5. Kovalchuk, M. (1997). *Terebovlianskyi zamok. Istorychna rozvidka* [Terebovlia Castle: A historical study]. Kameniar.
6. Lylo, O. (2021). Diialnist budivnychkh Lvova pershoi polovyny XVIII st. v konteksti yevropeiskykh zv'iazkiv: osoblyvosti formuvannia i rozbudovy [Activities of Lviv builders of the first half of the 18th century in the context of European ties: features of formation and development]. *Artes Almanac*. <https://artes-almanac.com/diialnist-budivnychkh-lvova-ppol18st/>
7. Lypa, K. (2013). Yazlovetskyi zamok [Yazlovets Castle]. In V. A. Smolii et al. (Eds.), *Entsyklopediia istorii Ukrainy* [Encyclopedia of the History of Ukraine] (Vol. 10, p. 729). Institute of History of Ukraine, NAS of Ukraine.
8. Tsaryk, L., Barna, I., Haida, Yu., & et al. (2016). *Ternopilshchyna: tsili i potentsial staloho pryrodokorystuvannia* [Ternopil region: goals and potential of sustainable nature management: a monograph]. SMP "Taip".

ЧЕРВОНОКОЛІРНІ ПІСКОВИКИ ДЕВОНСЬКИХ ВІДКЛАДІВ В АРХІТЕКТУРІ ЛЬВОВА: ОСНОВНІ ЕТАПИ ТА ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ

Данило Борняк
Ірина Побережська
Катерина Борняк

*Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005*

e-mail: Danylo.Borniak@lnu.edu.ua; iryna.poberezhska@lnu.edu.ua; 18kbr18@gmail.com

У роботі виділено основні етапи та особливості використання червоноколірних пісковиків девонських відкладів в архітектурному середовищі Львова. Встановлено, що в XVI–XVIII ст. через складну логістику та специфічні фізико-механічні властивості породи її застосування було обмеженим і суто прагматичним – камінь слугував для зміцнення архітектурних елементів з максимальним механічним навантаженням (сходи, пороги). Досліджено поєднання червоноколірного пісковика та світлого місцевого вапняка, де перший забезпечував міцну несучу основу та захист споруд від вологи й забруднень, тоді як другий був матеріалом для зведення стін і виконання різьблених декоративних елементів. Особливу увагу приділено зламю XIX–XX ст., коли поява залізниці та перехід до промислового видобутку зробили червоноколірний пісковик головним матеріалом для втілення архітектурних концепцій. Камінь став основою поліхромних фасадів, а згодом – захисним екраном для залізобетонних конструкцій модернізму. В меморіальній пластиці Личаківського некрополя цього періоду – це поширений, а інколи і головний, матеріал для монолітних хрестів, стел і надгробних споруд, що демонструє виняткову довговічність різьблених форм і написів. У радянський період домінував перехід до індустріального виготовлення плит мощення та облицювання. Незважаючи на уніфікацію виробів, широке впровадження цього матеріалу в громадських просторах дозволило зберегти природну кам'яну фактуру у міському середовищі та утвердити теребовлянський пісковик як невід'ємний елемент архітектурної ідентичності Львова. Доведено, що еволюція застосування червоноколірних пісковиків девонських відкладів пройшла шлях від локального інженерного рішення до масштабної архітектурної стратегії, де ключовими факторами виступали фізико-механічні властивості, доступність логістики та декоративний потенціал породи.

Ключові слова: архітектура Львова, будівельний камінь, теребовлянський пісковик, родовище, Old Red Sandstone.

Дата першого надходження статті до видання: 27.01.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 23.03.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026

УДК 553.98(477.83)

DOI <https://doi.org/10.30970/vgl.40.12>

ІСТОРІЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПЕРСПЕКТИВИ НАФТОГАЗОНОСНОСТІ ЛЬВІВСЬКОГО ПАЛЕОЗОЙСЬКОГО ПРОГИНУ

Олександр Шваєвський^{1,2} <https://orcid.org/0009-0009-3638-6244>

Юрій Віхоть^{1,2} <https://orcid.org/0000-0002-7588-9540>

Леонід Скакун² <https://orcid.org/0000-0002-2338-6562>

Василь Микитчин² <https://orcid.org/0009-0008-3657-3763>

Надія Словотенко² <https://orcid.org/0000-0001-9569-417X>

Соломія Кріль² <https://orcid.org/0000-0001-5790-5431>

Євгеній Мороз² <https://orcid.org/0009-0009-0363-9276>

¹Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005

e-mail: oleksandr.shvayevskyu@lnu.edu.ua; yuvik@ukr.net

²Львівське відділення УкрНДІгазу, АТ “Укргазвидобування”,
вул. Стрийська, 144, Львів, Україна, 79004

e-mail: leonid.skakun@ugv.com.ua; vasyl.mykytchyn@ugv.com.ua;

nadiia.slovotenko@ugv.com.ua; solia_kr@ukr.net; yevhenii.moroz@ugv.com.ua

Стаття розкриває етапи та стан вивчення нафтогазоносності Львівського палеозойського прогину на основі даних геолого-геофізичних досліджень, результатів буріння свердловин різного призначення, випробування пластів. Проаналізовано головні періоди геолого-геофізичної вивченості цього регіону від 60-х до 90-х років ХХ століття.

Систематизовано результати інтерпретації геолого-геофізичних робіт провідних виробничих і наукових установ, продемонстровано їхній вклад в освоєння регіону. Висвітлено перехід від регіональних досліджень до детального сейсмозвідування, що стало основою для побудови структурних карт регіону по основних відбиваючих горизонтах у фундаменті та осадовій товщі. Проаналізовані результати буріння параметричних, пошукових та структурних свердловин, що вказують на виявлені прямі ознаки нафтогазоносності у різних стратиграфічних комплексах.

Значну увагу у статті приділено еволюції наукових поглядів на перспективи нафтогазоносності у цьому регіоні. До середини 1960-х років основні перспективи нафтогазоносності пов'язували з девонською системою. Згодом перспективними почали вважати силурійські та кембрійські відклади. Відкриття Велико-Мостівського та Локачинського родовища підтвердило промислове значення девонського комплексу. Компанії, що отримали ліцензії на видобуток у межах цього регіону, спрямовували свої дослідження на вивчення газоносності девонських відкладів та виділення у них продуктивних горизонтів.

Систематизація результатів багаторічних досліджень, відображених у численних наукових працях та галузевих звітах, вказує на можливі перспективні об'єкти у межах Львівського палеозойського прогину. За результатами комплексної інтерпретації геолого-геофізичних досліджень, даних про буріння свердловин та випробування пластів, продуктивними структурами можуть бути

(Семеринська, Володимирівська, Вічинська, Войницька, Городинська, Павлівська та ін.). Окреслено напрями буріння пошукових, параметричних та структурних свердловин у межах структур північної частини Львівського палеозойського прогину, як однієї з перспективних ділянок для збільшення ресурсної бази вуглеводнів у межах Західного нафтогазоносного регіону.

Негативні результати під час проведення пошукових та розвідувальних робіт попередніх років зумовлені комплексом чинників. Низька якість та фрагментарність сейсмічних даних, нерівномірне покриття регіону бурінням привели до некоректної інтерпретації геологічної будови, неточностей у визначенні оптимальних точок для закладання свердловин як у межах Локачинського валу, так і на прилеглих структурах. Застосування 3D сейсміки у комплексі із геологічними даними у межах північної частини Львівського палеозойського прогину може суттєво посприяти у мінімізації неточностей у геологічних моделях та виділенню покладів, що сприятиме успішному освоєнню надр, отриманні комерційного прибутку нафтогазовидобувним компаніям, а, головне, забезпечення потреб у вуглеводнях.

Ключові слова: нафтогазоносність, свердловина, буріння, структура, сейсмічний горизонт, сейсмозвідка, Львівський палеозойський прогин.

Постановка проблеми. Енергонезалежність України та гостра потреба у забезпеченні власними вуглеводнями вимагає пошуку та відкриття нових перспективних або дорозвідки площ для буріння на нафту та газ. Актуальність комплексного аналізу геолого-геофізичної та свердловинної інформації особливо у Західному нафтогазоносному регіоні зумовлена необхідністю виділення перспективних ділянок. Західний нафтогазоносний регіон є стратегічно важливим для збільшення видобутку вуглеводнів, що потребує чіткого окреслення напрямків для пошуку та дорозвідки нафтогазових покладів.

Дослідження нафтогазоносності Львівського палеозойського прогину, які здійснювали фахівці різних виробничих та наукових організацій упродовж останніх десятиліть, довели існування перспективних структур та площ, і в результаті були виділені різні за запасами родовища вуглеводнів, зокрема таке газове родовище, як Велико-Мостівське. Іншим підтвердженням наявності покладів газу стало відкриття Локачинського газового родовища. Очевидно, що й інші структури, зокрема, ті, які розміщені у межах північної частини Львівського палеозойського прогину, подібні структурі Локачинського родовища, можуть також бути перспективними на вуглеводні.

Мета роботи. На прикладі узагальненого аналізу та етапів геолого-геофізичної вивченості Львівського палеозойського прогину висвітлити перспективи нафтогазоносності з метою пропозицій щодо подальших детальніших досліджень у цього регіону.

Аналіз попередніх досліджень та виклад основного матеріалу. Дослідження геологічної будови північної частини Львівського палеозойського прогину пов'язані з вивченням Волино-Подільської частини Східно-Європейської платформи. Цей регіон викликав інтерес у фахівців не лише у зв'язку із розумінням особливостей тектоніки, стратиграфії, літології, а й практичний. Значний поштовх здійснили пошукові та геологорозвідувальні роботи на вугілля. В 1947–1948 р.р. трестом “Волиньвуглерозвідка” проводились бурові роботи на східному та північному бортах Львівського палеозойського прогину. Головним завданням цих робіт було вивчення особливостей вугленості цього регіону, які у подальшому чітко окреслили структуру та перспективи Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну.

Потужність осадових порід цього регіону є досить значною: від сотень метрів на півночі до тисяч на півдні. Це змусило геологів усе частіше залучати геофізичні дослідження, які на той час ставали головним інструментом вивчення глибинної будови земної кори. Саме під час таких робіт були виявлені окремі структури, які могли містити поклади нафти і газу.

Геологорозвідувальні роботи на нафту і газ проводили такі виробничі організації, як “Укрнафтогазрозвідка”, “Укргаз”, “Львівнафтогазрозвідка”, “Західукргеологія”, “ЗУГРЕ”. Значний обсяг робіт здійснили фахівці тематичної партії об’єднання “Західукргеологія”. Вони охоплювали опорно-параметричне, пошуково-розвідувальне та структурно-пошукове буріння (рис. 1), різноманітні геофізичні методи розвідки і тематичні роботи. Науково-дослідний супровід цих робіт здійснювали науковці УкрДГРІ та ІГГК НАН України. Результати цих досліджень знайшли відображення у наукових і виробничих звітах [1-3, 5-6, 10-12, 15-16], а узагальнення та аналіз результатів у десятках опублікованих праць (статей, монографій) у різні роки [4, 7-9, 13, 14, 17].

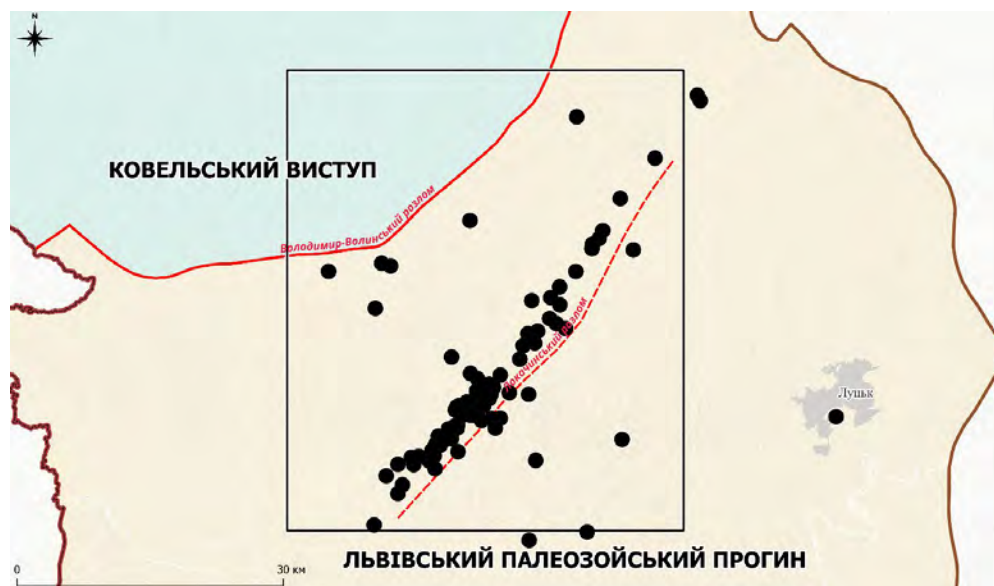


Рис. 1. Схематичне зображення з розміщенням свердловин різного призначення у межах північної частини Львівського палеозойського прогину, пробурених у різні роки (побудована за даними [14])

У 1950 році проводились роботи Волино-Подільською маршрутно-рекогносцирувальною партією по вивченню геологічної будови і нафтогазоносності центральної частини Волино-Подільського закінчення Східно-Європейської платформи. За їхніми результатами була складена структурно-геологічна карта-схема масштабу 1:200 000, наданий детальний опис стратиграфії, тектоніки та перспектив нафтогазоносності.

Планомірні геолого-геофізичні дослідження в районі Волино-Подільського сегменту Східно-Європейської платформи розпочаті в 1968 році. Саме у цьому році співробітниками УкрДГРІ складений генеральний проект геологорозвідувальних робіт на нафту і газ в межах Волино-Подільського закінчення Східно-Європейської платформи на 1969–1975 р.р.

Згідно з цією програмою рекомендовано буріння 18-ти опорно-параметричних свердловин та проведення детальних сейсмічних робіт на ділянці Белз – Стоянів – Буськ – Глиняки – Винники – Крехів. Надано наукове обґрунтування необхідності проведення подальших пошуків покладів нафти і газу.

В 1968 році на площі Устилуг – Ковель – Пелча – Олесько проведені комплексні дослідження по відбиваючому горизонту, який пов’язали з поверхнею кристалічного

фундаменту. Встановлено занурення фундаменту в західному і південно-західному напрямках, а також виявлено низку регіональних розломів.

В 1970–1971 р.р. проведені сейсмічні дослідження на площах Павлівка – Котильно – Свитичі – Локачі. У результаті досліджень вивчені загальні риси геологічної будови на зазначених площах.

Основний об'єм геологорозвідувальних робіт до 1970 р. припадає на західну занурену частину Львівського палеозойського прогину. Вони були направлені на вивчення нафтогазоносності девонських і частково кембрійських відкладів. У відкладах нижнього і середнього девону встановлено невелике за запасами скучення газу на Великомоствській площі Львівської області. У результаті було відкрите Великомоствське газове родовище в девонських відкладах.

У 1970 році трестом “Львівнафтогазрозвідка” здійснена обробка матеріалів глибокого буріння і рекомендації щодо напрямів розвідувальних робіт на площах Волино-Подільської частини Східно-Європейської платформи. Результатами цих робіт було: встановлена кутова незгідність між відкладами нижнього і середнього девону; головні структурні форми Ковельського підняття є каледонськими; відклади кембрію і валдаю корелюються за промислово-геофізичними матеріалами; відклади кембрію характеризуються підвищеною газонасиченістю; відклади поліської серії сприятливі у гідрогеологічному плані для накопичення нафти і газу; на північний захід від Куликівського підняття виявлене Жужелянське підняття, яке перспективне в плані нафтогазоносності; надані конкретні рекомендації для проведення робіт на площах: Балучин, Хлівчани, Перемишляни, Літовеж, Дубляни, Овадно, Борщовичі, Володимир-Волинський.

У 1972 році було узагальнено геологічні матеріали пошуково-розвідувального, опорного і параметричного буріння за 1971 рік на багатьох площах: Радовичі-Овадне, Володимир-Волинський, Литовеж, Новий Витків, Берестечко та ін. Були з'ясовані особливості геологічної будови та нафтогазоносності зазначених площ. Наявні результати буріння та випробування свердловин. Надані конкретні рекомендації стосовно подальших робіт на вказаних площах [12, 13, 2, 3].

В 1971–1973 р. р. ЗУГРЕ провело сейсмічні дослідження МВХ і МСГТ в північній частині Львівського палеозойського прогину та Волинському виступі. В осадовій товщі по умовним відбиваючим сейсмічним горизонтам виявлено Локачинське валоподібне підняття. Вал встановлений у відкладах силуру, кембрію та верхнього протерозою. Структурні плани по них майже збігаються. Вперше на східному борті Львівського палеозойського прогину була виявлена велика структура північно-східного простягання.

З метою підтвердження структури, деталізації її будови та оцінки перспектив нафтогазоносності згідно з проектами структурно-пошукового буріння і трьома доповненнями складеними трестом “Львівнафтогазрозвідка” в 1972–1980 р.р. було пробурено 26 свердловин.

У 1973 році трестом “Львівнафтогазрозвідка” був захищений звіт про результати структурно-пошукового буріння, проведеного на площі Володимир-Волинський Волинської області у 1971–1972 р.р. Проведена детальна кореляція промислово-геофізичних матеріалів. Уточнена стратиграфія та наявність тектонічно екранованих пасток.

Варто зазначити, що протягом усього періоду вивчення осадових відкладів регіону змінювалися уявлення про ступінь перспективності нафтогазоносності окремих стратиграфічних комплексів: до середини 60-х років усі сподівання були пов'язані з відкладами девонської системи, пізніше перспективними вважали силурійські та кембрійські комплекси. Такий підхід очевидно відобразився на ефективності геологорозвідувальних робіт.

Впродовж 1972–1973 р.р. розшукові роботи на Волино-Поділлі майже повністю призупинені і лише завдяки дослідженням геологів об'єднання Західургеологія

(Котик В., Бержинська Л., Папроцька К. та ін.) які в структурно-пошукових свердловинах на площах Локачі і Кропець-Пишківці виявили рифові утворення у відкладах силуру, роботи вирішили продовжити на одній площі.

У 1973–1979 р. р. за даними тематичних робіт (УкрДГРІ, ІГГК НАН України, ТП ДП “Західукргеологія”), буріння і сейсморозвідки вивчалась проблема розповсюдження рифових тіл в силурі та оцінка перспектив нафтогазоносності силурійських і кембрійських відкладів. Після отримання негативних результатів розвідка була переорієнтована на девонські відклади.

Переломним моментом можна вважати квітень 1979 року коли в структурно-пошуковій свердловині 23-Локачі стався газовий викид з відкладів девону. Фактично цією свердловиною і було відкрите Локачинське родовище. З цього часу основним пошуково-розвідувальним об’єктом стали відклади девону. Наявність газових покладів у відкладах девону підтвердили свердловини 25–Локачі та 27–Локачі, в яких отримані промислові припливи газу. Більшість геологів вважають це “приємною несподіванкою”, оскільки попередні свердловини, які пройшли відклади девону були непродуктивними. Це свідчить про складність виявлення покладів вуглеводнів у Львівському палеозойському прогині.

Цей газовий викид слугував новим поштовхом для здійснення пошуково-розвідувального буріння на площах Локачі, Семеринка і структурного буріння на суміжних Вічинській, Підберезівській і Володимирівській.

В результаті структурно-пошукового буріння у відкладах девону і силуру встановлені Локачинське і Семеринське підняття, уточнена їхня будова та виконані побудови по умовним сейсмичних горизонтах у верхньому девоні (франський ярус) та верхньому силурі (скальський ярус). На Локачинській площі в силурійських відкладах виділені рифогенні побудови, з якими пов’язували прямі ознаки нафтогазоносності. При випробуванні пластовипробувачами в окремих структурно-пошукових свердловинах отримано слабкі припливи нафти.

У межах покрівлі кембрію і різних горизонтів силуру виявлені дві відокремлені складки – Локачинську і Семеринську, які розміщені на одній і частково вигнутій осі північно-східного простягання. Структурні побудови, виконані по відкладах силуру і кембрію, вказують існування двох пасток. На той час були вже відомі газопрояви з відкладів кембрію на багатьох площах (Перемишляни, Великі мости, Локачі). Було з’ясовано, що породи верхньої частини кембрію східного борту Львівського прогину володіють добрими колекторськими властивостями в районі Горохова та Луцька. Відкрита пористість досягає 21%, а проникність 100–200 мД.

У результаті досліджень були виявлені нафтогазопрояви у відкладах силуру на площах Локачі і Семеринка, які пов’язані з рифовими утвореннями скальського і малиновецького горизонтів. Нафту виявили у формі крапель у кавернах та тріщинах, у керні з бітумінозним запахом, кернових інтервалах, просякнених нафтою. Найбільша кількість нафтогазопровів була зафіксована у відкладах малиновецького горизонту.

Такі результати дозволили зробити висновок, що газові поклади девонського віку розміщені над рифами, які певною мірою контролюють контур газоносності. Відтак це обґрунтовувало доцільність проведення додаткових пошуково-розвідувальних робіт щодо перспективності відкладів силуру і кембрію на Локачинській і Семеринській площі [5].

В 1980 році тематичною партією об’єднання “Західукргеологія” складений геологічний проєкт розвідувального буріння на Локачинському родовищі. З метою розвідки виявлених газових покладів передбачалось буріння чотирьох розвідувальних свердловин. У процесі розвідки родовища виявилось, що для оконтурювання газових покладів, отримання параметрів для підрахунку запасів та підготовки родовища до введення у ДПР

необхідно буріння додаткових свердловин. В 1981 році об'єднанням "Західукргеологія" складено доповнення до проєкту, в якому передбачалось буріння восьми розвідувальних свердловин.

Фактично згідно з проєктом і доповненням було пробурено вісім свердловин, шість із них безпосередньо в межах Локачинського родовища. У чотирьох свердловинах (2–Локачі, 3–Локачі, 5–Локачі та 7–Локачі) з відкладів девону отримані промислові припливи газу.

У цей період активно здійснюють геофізичні роботи. Результатом проведення ЗУГРЕ досліджень за методами МВХ і МСГТ стали виявлені Підберезівське, Горохівське, Кустинське та Лопатинське підняття. При проведенні ЗУГРЕ в 1979 р. сейсмічних досліджень за методом МСГТ уточнено будову Локачинської і Семеринської структур.

У 1981 фахівці тематичної партії об'єднання "Західукргеологія" здійснили спробу узагальнення та обробки матеріалів буріння по Волино-Подільській країні Східно-Європейської платформи.

Цими роботами було деталізовано структурні побудови по відкладах франкського і фаменського ярусів верхнього девону на Загорівській, Володимирській, Підберезівській, Сокальській, Литовезькій площі. Закартована і підготовлена до пошуково-розвідувального буріння Загорівська складка (рекомендована глибина буріння 2000 м). Наявність Хобултівської складки не знайшло підтвердження. Змінена конфігурація Підберезівської складки. Рекомендована постановка розвідувального буріння на Вічинській і Оглядівській площах. Деталізовані Сокальська та Литовезька площі. Для ув'язки Володимирської, Локачинської та Горохівської площі рекомендоване профільне буріння [15].

У цей час працівниками тематичної партії "Західукргеології" представлений геологічний звіт про результати пошукового буріння на площі Семеринська, Волинської області. Було пробурено дві пошукові свердловини і встановлено, що площа за відкладами середнього та верхнього девону безперспективна (ймовірні продуктивні пласти обводнені). Перспективи можна очікувати у відкладах кембрію і валдаю. Отримана додаткова інформація про будову Локачинського вала.

Також здійснено узагальнення і обробку матеріалів буріння на Волино-Подільській країні Східно-Європейської платформи у 1982 році.

Встановлено відсутність Підберезівського валу та інших додатних структур. По Володимирівській площі було передбачено буріння чотирьох свердловин. Виникло багато запитань по формі структури. Був зроблений висновок, що площа наразі не готова до пошукового буріння. На Оглядівській площі запроєктовано буріння п'яти свердловин для вивчення природи силурійської аномалії. На Сокальській площі свердловина в інтервалі випробування 1852–1900 м (середній девон), отриманий притік води з розчиненим газом. На Литовезькій площі запропоновано буріння двох свердловин.

Чергова спроба узагальнення і обробка матеріалів буріння на Волино-Подільській країні Східно-Європейської платформи реалізована у 1983 році. Була підготовлена і передана у розвідувальне буріння структура Володимирівська. На інших площах підняття не виявлено. Пошуково-розвідувальне буріння на площах Сокальська і Литовезька не дозволяє однозначно говорити про їхні перспективи. Зіставлення структурних карт дозволяє переорієнтувати структурне буріння на вищий опорний горизонт (підшву фамену). Аналіз попередніх матеріалів дозволяє очікувати позитивні результати з відкладів силуру, кембрію і можливо протерозою. Подані рекомендації для проведення подальших робіт.

У 1985 фахівці "Західукргеологія" підсумували матеріали буріння на Волино-Подільській країні Східно-Європейської платформи. Буріння здійснювали на площах Горохівська, Володимирівська, Хобултівська, Перемишлянська, Оглядівська

(структурно-пошукове), Стременська (пошукове). Випробувана Сушновська параметрична свердловина. Було зроблено висновок про існування крупної плікативної додатної структури у верхньодевонських відкладах північної частини Львівського прогину. Ця структура отримала назву Тумин-Хобултівський вал. Рекомендовано продовжити буріння і сейсморозвідку у межах цієї структури. На Оглядівській площі рекомендовано профільне буріння для вивчення рифогенних фацій у силурійській товщі. На Перемишлянській площі запропонована нова структурна основа. На Стременській площі рекомендовано пробурити одну свердловину глибиною 1500 м. Впродовж 1984 року пробурена параметрична свердловина Загорівська-1. Свердловина увійшла у вулканогенні відклади волинської серії венду. Випробування було здійснено у кембрійській, силурійській та девонській частині розрізу. Усі інтервали випробування виявилися безперспективними у плані нафтогазоносності [16].

Геологи об'єднання "Західукргеологія" у 1986 р. узагальнили матеріали буріння на Волино-Подільській окраїні Східно-Європейської платформи оскільки на цей час гостро стояла проблема нових структур для буріння.

Метою робіт була підготовка структур до глибокого пошукового буріння на площах Хобултівська, Адамівська, Добротвірська, Волицька, Перемишлянська та пошуки літологічно екранованих пасток у відкладах девону, силуру та кембрію на площах Оглядівська, Пустомитівська, Тихотинська, пошукове буріння на Стремінській складці, параметричне буріння на Добротвірській площі.

У цей час здійснювали структурно-пошукове буріння на площах Володимирівська і Горохівська Волинської області. На цих площах пробурено 52 свердловини різного призначення. Це дозволило по реперній поверхні фамену (D_3) побудувати структурну карту північної частини Львівського палеозойського прогину. На ній зафіксована положогахилена, слабдеформована монокліналь західно – північно-західного напрямку, яка ускладнена Локачинським та Тумин-Хобултівським валом. У маловивченій товщі на межі девону і карбону виділено три літологічних типи розрізів: Володимир-Волинський, Литовезький і Радехівський.

Впродовж 1983–1985 р.р. була пробурена параметрична свердловина Сушновська-1, глибиною 4201 м. Відклади кембрію були об'єктом спеціального вивчення з метою пошуків у них літологічно ізольованих пасток. Випробування трьох об'єктів у кембрійській частині і одного у середньодевонській частині дали пластову воду. Літологічно екрановані пастки не виявлені.

Наприкінці 80-х років було проведене структурно-пошукове буріння на Тихотинській площі, яка розташована у північній частині східного борту Львівського палеозойського прогину. Роботи проводилися за рекомендаціями працівників УкрДГРІ з метою виявлення на північно-східному продовженні Локачинського валу літолого-стратиграфічних пасток нафти і газу в тиверській і бережковській світах нижнього девону і кембрію, а також антиклінальних структур в балтійських і валдайських утвореннях. Пробурено п'ять свердловин. Бурінням встановлені прямі ознаки нафтогазоносності у розрізі девону, силуру і кембрію. Сейсморозвідка виділила куполоподібні підняття, а також органогенні структури тиверської серії, які можна розглядати як ймовірні об'єкти пошуків скупчень вуглеводнів. З метою оцінки перспектив нафтогазоносності тектонічно екранованих пасток північно-східної частини Локачинського валу та ділянки, яка прилягає з півдня і утворює геохімічну аномалію, запропоновано ввести в структурно-пошукове буріння Городинську площу. Було заплановано буріння 3-х свердловин, глибиною 1850–1900 м.

На початку 90-х років отримано результати структурно-пошукового буріння, проведеного на площі Марковичі. Буріння здійснювали на Марковицькій площі (у межах



Рис. 2. Схема розміщення перспективних нафтогазоносних структур у межах північної частини Львівського палеозойського прогину (побудована за даними карти фонду структур Західного нафтогазоносного регіону, УкрДГРІ, 2004 р. [1], та [8, 14])

Локачинського валу) з метою отримання структурного плану силурійських відкладів і виявлення у верхньосилурійському комплексі органогенної побудови сприятливої для накопичення вуглеводнів. Було пробурено три свердловини. Органогенні побудови не виявлені. Верхньосилурійські відклади виявилися безперспективними у зв'язку із відсутністю у них колекторських різновидів. Попутно вивчені середньо-нижньодевонські відклади, які дали непромисловий притік нафти у двох свердловинах. Уточнений структурний план Загорівської складки. З метою остаточної оцінки Загорівської складки запропоновано буріння однієї свердловини із використанням сучасних комплексних методик досліджень у свердловинах.

У 1992 році структурно-пошукове буріння здійснювали на Городинській площі, яка розміщена у межах Львівського палеозойського прогину. Мета робіт – вивчення нафтогазоносності палеозойських і верхньопротерозойських відкладів тектонічно-екранованих пасток північно-східної частини Локачинського валу. Пробурено дві свердловини. Встановлена відсутність тектонічно екранованої пастки для вуглеводнів у зв'язку з чим розріз палеозойських і верхньопротерозойських відкладів обводнений і безперспективний у відношенні нафтогазоносності.

В 1994 році складено “Проект розробки Локачинського родовища” в зв'язку з одержанням додаткової геолого-промислової інформації по продуктивних горизонтах і затвердження запасів газу Згідно з проектом розробки і доповненнями протягом 1994–1999 р. р. пробурено 16 експлуатаційних свердловин. В дослідно-промислово розробку родовище вступило в 1999 році.

Останній перегляд матеріалів сейсмозвідки на Павлівсько-Локачинській і Семеринській площах виконаний ЗУГРЕ в 2008 році. Виконані структурні побудови по умовних сейсмічних горизонтах в протерозої, кембрії і середньому девоні.

Як бачимо із викладеного матеріалу цей регіон досить детально вивчали на рівні буріння та геофізичних досліджень. На жаль, станом на сьогодні маємо лише один промисловий об'єкт, який експлуатує АТ “Укргазвидобування” – це Локачинське родовище (рис. 1). Чи це є унікальне родовище, яке не має аналогів у регіоні, однозначно сказати

важко. Аналізуючи етапи та результати досліджень цього регіону можна зробити висновок, що геологи-виробничники неодноразово вказували на низку причин негативних результатів. Зокрема: некоректність або погану якість геофізичних досліджень, значна кількість свердловин були закладені у межах периклінальних частин структур (складок), або на їхніх крилах. Крім того, є багато запитань до здійснення процедури випробування інтервалів, опису та прив'язки кернавого матеріалу. Очевидно, що співпраця виробничників і науковців, за результатами якої закладали свердловини, могла бути на вищому рівні.

Висновки та перспективи подальшого дослідження. Незважаючи на велику кількість негативних результатів, отриманих під час буріння, інтерпретації геолого-геофізичних даних, регіон на думку багатьох фахівців згідно аналізу публікацій, монографій та низки виробничих звітів є надзвичайно перспективним стосовно нафтогазоносності та виділення перспективних структур у межах північної частини Львівського палеозойського прогину (рис. 2). Останній має усі передумови бути перспективною ділянкою для збільшення ресурсної бази вуглеводнів у межах Західного нафтогазоносного регіону

Новим поштовхом може бути здійснення якісної 3D сейсміки у межах виділення перспективних структур, інтерпретації та пошукового буріння на підставі нових рекомендацій та детальний аналіз накопиченого у попередні роки геолого-геофізичного матеріалу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Вуль М. А., Пригаріна Т. М., Кучма М. Л. та ін. Геолого-економічна оцінка ресурсів вуглеводнів Східного, Західного і Південного і нафтогазоносних регіонів України станом на 01.01.2004 р. та визначення обсягів і напрямків геологорозвідувальних робіт : звіт за темою 864. Львів : УкрДГРІ, 2007.
2. Геологічний звіт про результати структурно-пошукового буріння, проведеного на площі Володимир-Волинський Волинської області у 1971-1972 рр. "Львівнафтогазрозвідка". Львів, 1973. 81 с.
3. Геологічний звіт про результати пошукового буріння на площі Семеринська, Волинської області. ДП "Західукргеологія". Львів, 1982. 34 с.
4. Гоник І., Гаврилко Г., Гоник О. Перспективи пошуків вуглеводнів у девонських відкладах Волино-Поділля за результатами зонального прогнозу. *Геологія і геохімія горючих копалин*. 2012. № 1-2 (158-159). С. 18–26.
5. Звіт про результати структурно-пошукового буріння, яке проведене на площі Семеринська Волинської області у 1979-1981 рр. ДП "Західукргеологія". Львів, 1986. 52 с.
6. Звіт про результати структурно-пошукового буріння на площах Володимирівська і Горохівська Волинської області, проведеного у 1977-1985 рр. ДП "Західукргеологія". Львів, 1986. 123 с.
7. Крупський Ю. З. Геодинамічні умови формування і нафтогазоносність Карпатського та Волино-Подільського регіонів України. Київ : УкрДГРІ, 2001. 144 с.
8. Крупський Ю. З., Куровець І. М., Сеньковський Ю. М. та ін. Нетрадиційні джерела вуглеводнів України : монографія : у 8 кн. Кн. 2. Західний нафтогазоносний регіон. Київ : Ніка-Центр, 2014. 400 с.
9. Крупський Ю. З. Геологія і нафтогазоносність Західного регіону України : монографія. Львів : СПОЛОМ, 2020. 256 с.
10. Обробка матеріалів глибокого буріння і рекомендації щодо напрямів розвідувальних робіт на площах Волино-Подільської країни Руської платформи. "Львівнафтогазрозвідка". Львів, 1970. 180 с.
11. Обробка та узагальнення геологічних матеріалів пошуково-розвідувального, опорного і параметричного буріння за 1971 рік на площах Стрийської НГРЕ. "Львівнафтогазрозвідка". Львів, 1972. 107 с.

12. Обробка результатів структурно-пошукового буріння та аналіз геолого-геофізичних матеріалів по Волино-Подільській окраїні Східно-Європейської платформи з метою напрямку подальших робіт та виявлення об'єктів розвідки. "Львівнафтогазрозвідка". Львів, 1975. 229 с.
13. Радковець Н. Я., Колтун Ю. В., Шайнога І. В. Генераційний потенціал порід девону Волинсько-Подільської плити. *Геологія і геохімія горючих копалин*. 2025. №1-2 (158-159). С. 5–13. <https://doi.org/10.15407/ggcm2025.197-198.005>
14. Резерв нафтогазовидобутку Західного регіону України / М. Павлюк, І. Наумко, Я. Лазарук та ін. ; НАН України, Ін-т геології і геохімії горючих копалин. Львів, 2022. 415 с.
15. Узагальнення та обробка матеріалів буріння по Волино-Подільській окраїні Східно-Європейської платформи. ДП "Західукргеологія". Львів, 1981. 60 с.
16. Узагальнення і обробка матеріалів буріння на Волино-Подільській окраїні Східно-Європейської платформи у 1982 році. ДП "Західукргеологія". Львів, 1982. 56 с.
17. Чепіль В. П. Нерозвіданий резерв нарощування видобутку вуглеводнів на Волино-Поділлі. *Нафтогазова галузь України*. 2019. № 2. С. 32–35.

REFERENCES

1. Vul, M. A., Pryharina, T. M., Kuchma, M. L., et al. (2007). *Heoloho-ekonomichna otsinka resursiv vuhlevodniv Skhidnoho, Zakhidnoho i Pivdennoho naftohazonosnykh rehioniv Ukrainy stanom na 01.01.2004 r. ta vyznachennia obsyahiv i napriamkiv heolohorozvidovalnykh robot: zvit za temoiu 864* [Geological and economic assessment of hydrocarbon resources of the Eastern, Western and Southern oil and gas regions of Ukraine as of 01.01.2004 and determination of the scope and directions of geological exploration works: report on topic 864] (Unpublished technical report). UkrDGRI. [in Ukrainian]
2. Lvivnaftohazrozvidka (1973). *Heolohichniy zvit pro rezultaty strukturno-poshukovoho burinnia, provedenoho na ploshchi Volodymyr-Volynskiy Volynskoi oblasti u 1971-1972 rr.* [Geological report on the results of structural and exploratory drilling conducted in the Volodymyr-Volynskiy area of the Volyn region in 1971-1972] (Unpublished geological report). 81 p.
3. DP "Zakhidukrheolohiia" (1982). *Heolohichniy zvit pro rezultaty poshukovoho burinnia na ploshchi Semerynska, Volynskoi oblasti* [Geological report on the results of exploratory drilling in the Semerynska area, Volyn region] (Unpublished geological report). 34 p.
4. Honyk, I., Havrylko, H., & Honyk, O. (2012). *Perspektyvy poshukiv vuhlevodniv u devonskykh vidkladakh Volyno-Podillia za rezultatamy zonalnoho prohnozu* [Prospects for hydrocarbon exploration in the Devonian deposits of Volyn-Podillia based on the results of zonal prediction]. *Geology and Geochemistry of Combustible Minerals*. 1-2 (158-159). pp.18-26. [in Ukrainian]
5. DP "Zakhidukrheolohiia" (1986). *Zvit pro rezultaty strukturno-poshukovoho burinnia, yake provedene na ploshchi Semerynska Volynskoi oblasti u 1979-1981 rr.* [Report on the results of structural-exploratory drilling conducted in the Semerynska area of the Volyn region in 1979-1981] (Unpublished geological report). 52 p.
6. DP "Zakhidukrheolohiia" (1986). *Zvit pro rezultaty strukturno-poshukovoho burinnia na ploshchakh Volodymyrivska i Horokhivska Volynskoi oblasti URSSR, provedenoho u 1977-1985 rr.* [Report on the results of structural-exploratory drilling in the Volodymyrivska and Horokhivska areas of the Volyn region, conducted in 1977-1985] (Unpublished geological report). 123 p.
7. Krupskiy, Yu. Z. (2001). *Heodynamichni umovy formuvannia i naftohazonosnist Karpatskoho ta Volyno-Podilskoi rehioniv Ukrainy* [Geodynamic conditions of formation and oil and gas potential of the Carpathian and Volyn-Podolian regions of Ukraine]. UkrDHRI. 144 p. [in Ukrainian]

8. Krupskiy, Yu. Z., Kurovets, I. M., Senkovskiy, Yu. M., et al. (2014). *Netradytsiini dzhherela vuhlevodniv Ukrainy: Monohrafiia: u 8 kn. Kn. 2. Zakhidnyi naftohazonosnyi rehion* [Unconventional hydrocarbon sources of Ukraine: Monograph: In 8 books. Book 2. Western oil and gas region]. Nika-Tsentr. 400 p. [in Ukrainian]
9. Krupskiy, Yu. Z. (2020). *Heolohiia i naftohazonosnist Zakhidnoho rehionu Ukrainy* [Geology and oil and gas potential of the Western region of Ukraine]: Monograph. SPOLOM. 256 p. [in Ukrainian]
10. Lvivnaftohazrozvidka (1970). *Obrobka materialiv hlybokoho burinnia i rekomendatsii shchodo napriamiv rozviduvalnykh robot na ploshchakh Volyno-Podilskoi okrainy Ruskoj platformy* [Processing of deep drilling materials and recommendations for exploration directions in the Volyn-Podillia margin of the Russian Platform] (Unpublished geological report). 180 p.
11. Lvivnaftohazrozvidka (1972). *Obrobka ta uzahalnennia heolohichnykh materialiv poshukovo-rozviduvalnoho, opornoho i parametrychnoho burinnia za 1971 rik na ploshchakh Stryiskoi NHRE* [Processing and generalization of geological materials from search and exploration, reference and parametric drilling for 1971 in the Stryi OGRE areas] (Unpublished geological report). 107 p.
12. Lvivnaftohazrozvidka (1975). *Obrobka rezultativ strukturno-poshukovoho burinnia ta analiz heoloho-heofizychnykh materialiv po Volyno-Podilskii okraini Skhidno-Yevropeiskoi platformy z metoiu napriamu podalshykh robot ta vyavlennia ob'ektiv rozvidky* [Processing of structural-exploratory drilling results and analysis of geological-geophysical materials on the Volyn-Podillia margin of the East European Platform for the purpose of directing further work and identifying exploration targets] (Unpublished geological report). 229 p.
13. Radkovets, N. Ya., Koltun, Yu. V., & Shainoha, I. V. (2025). *Heneratsiyni potentsial porid devonu Volynsko-Podilskoi plyty* [Generation potential of Devonian rocks of the Volyn-Podillia Plate]. *Geology and Geochemistry of Combustible Minerals*, (1–2), p.p. 5–13 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/ggcm2025.197-198.005>
14. Pavliuk, M., Naumko, I., Lazaruk, Ya., et al. (2022). *Rezerv naftohazovydobutku Zakhidnoho rehionu Ukrainy* [The reserve of oil and gas production in the Western region of Ukraine]. Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of the NAS of Ukraine. 415 p. [in Ukrainian]
15. DP “Zakhidukrheolohiia” (1981). *Uzahalnennia ta obrobka materialiv burinnia po Volyno-Podilskii okraini Skhidno-Yevropeiskoi platformy* [Generalization and processing of drilling materials on the Volyn-Podillia margin of the East European Platform] (Unpublished geological report). 60 p.
16. DP “Zakhidukrheolohiia” (1982). *Uzahalnennia i obrobka materialiv burinnia na Volyno-Podilskii okraini Skhidno-Yevropeiskoi platformy u 1982 rotsi* [Generalization and processing of drilling materials on the Volyn-Podillia margin of the East European Platform in 1982] (Unpublished geological report). 56 p.
17. Chepil, V. P. (2019). *Nerozvidanyi rezerv naroshchuvannia vydobutku vuhlevodniv na Volyno-Podilli* [Undiscovered reserve for increasing hydrocarbon production in the Volyn-Podillia region]. *Naftohazova haluz Ukrainy*, (2), p.p. 32–35 [in Ukrainian]

HISTORY OF EXPLORATION AND PETROLEUM POTENTIAL OF THE LVIV PALEOZOIC TROUGH

**Oleksandr Shvaievskiy^{1, 2}, Yuriy Vikhot^{1, 2}, Leonid Skakun²,
Vasyl Mykytchyn², Nadiia Slovotenko², Solomiia Kril²,
Yevhenii Moroz²**

*¹Ivan Franko National University of Lviv, 4, Hrushevskoho Str., Lviv, Ukraine, 79005
e-mail: oleksandr.shvayevskyy@lnu.edu.ua; yuvik@ukr.net*

*²Lviv branch of UkrNllgaz, JSC Ukrgasvydobuvannya,
144, Stryyska Str., Lviv, Ukraine, 79004
e-mail: leonid.skakun@ugv.com.ua; vasyi.mykytchyn@ugv.com.ua;
nadiia.slovotenko@ugv.com.ua; solia_kr@ukr.net; yevhenii.moroz@ugv.com.ua*

The article reveals the stages and current state of exploration regarding the oil and gas potential of the Lviv Paleozoic Trough, based on geological and geophysical survey data, drilling results from various well types, and formation testing. The main periods of geological and geophysical study of this region from the 1960s to the 1990s are analyzed.

The results of geological and geophysical data interpretation by leading industrial and scientific institutions have been systematized, demonstrating their contribution to the region's development. The transition from regional studies to detailed seismic prospecting is highlighted, which formed the basis for constructing structural maps of the region for the main reflecting horizons within the basement and sedimentary cover. The results of parametric, exploratory, and structural drilling are analyzed, indicating direct evidence of oil and gas presence within various stratigraphic complexes.

Significant attention is paid to the evolution of scientific views on the prospects for oil and gas potential in this region. Until the mid-1960s, the primary prospects were associated with the Devonian system. Subsequently, Silurian and Cambrian deposits began to be considered promising. The discovery of the Velyki Mosty and Lokachi fields confirmed the commercial significance of the Devonian complex. Companies that obtained production licenses within this region focused their research on studying the gas potential of Devonian deposits and identifying productive horizons within them.

The systematization of long-term research results, reflected in numerous scientific works and industry reports, indicates potential targets within the Lviv Paleozoic Trough. Based on the comprehensive interpretation of geological and geophysical studies, drilling data, and formation testing, productive structures such as Semerynska, Volodymyrivska, Vichynska, Voynytska, Horodynska, Pavlivska, and others can be identified. The directions for drilling new exploration, parametric, and structural wells within the structures of the northern part of the Lviv Paleozoic Trough are outlined as one of the promising targets for increasing the hydrocarbon resource base within the Western Oil and Gas Region.

Negative results during exploration and appraisal work in previous years were caused by a combination of factors. The low quality and fragmentation of seismic data, coupled with uneven drilling coverage, led to incorrect interpretations of the geological structure and inaccuracies in determining optimal well locations both within the Lokachi Arch and on adjacent structures. The application of 3D seismic surveys in combination with geological data within the northern part of the Lviv Paleozoic Trough can significantly contribute to minimizing inaccuracies in geological models and identifying deposits. This will facilitate successful subsurface development, ensure commercial profits for oil and gas companies, and, most importantly, meet hydrocarbon demand.

Key words: oil and gas potential, well, drilling, structure, seismic horizon, seismic exploration, Lviv Paleozoic Trough.

Дата першого надходження статті до видання: 15.01.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 20.03.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026

УДК 550.4:556.3:628.1:614
DOI <https://doi.org/10.30970/vgl.40.13>

РОЛЬ ВОДНОГО ЧИННИКА У ФОРМУВАННІ ЗДОРОВ'Я СПОЖИВАЧІВ ПІДЗЕМНИХ ВОД ТА БІОГЕОХІМІЧНІ КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ЇХ ЯКОСТІ

Тетяна Кошлякова <https://orcid.org/0000-0001-8551-3531>

*Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка
НАН України, проспект Академіка Палладіна, 34, Київ, Україна, 03142
e-mail: tatianakoshliakova@gmail.com*

Стаття присвячена аналізу ролі водного чинника у формуванні здоров'я населення, що споживає підземні питні води, з акцентом на біогеохімічні критерії оцінки їх якості та екологічної безпеки. Актуальність дослідження зумовлена зростанням антропогенного навантаження на водні ресурси та необхідністю переосмислення традиційних підходів до нормування хімічного складу питної води з позицій довготривалого впливу на здоров'я людини. Показано, що чинна система оцінки якості води, заснована переважно на порівнянні концентрацій компонентів з гранично допустимими значеннями, є формалізованою та не враховує пролонговану дію мікроелементів, їх антагоністичні й синергічні ефекти, а також форми міграції хімічних елементів у водному середовищі.

На основі огляду вітчизняних і зарубіжних наукових публікацій проаналізовано сучасні підходи до оцінювання ризику для здоров'я людини, пов'язаного зі споживанням підземних вод різного хімічного складу, зокрема методи потенційного та реального екологічного ризику, розрахунку неканцерогенних токсичних ефектів і коефіцієнтів небезпеки. Особливу увагу приділено біогеохімічній індикації як інструменту виявлення мікроелементозів і геохімічних ендемій, що ґрунтується на аналізі взаємозв'язків між хімічним складом вод, біокосних систем і реакціями живих організмів.

Обґрунтовано доцільність використання біогеохімічних критеріїв у системі моніторингу якості питних підземних вод, які дозволяють оцінювати екологічний стан територій за градаціями «норма – ризик – криза». Показано, що застосування сучасних високочутливих аналітичних методів, термодинамічного моделювання та інтеграції гідрогеохімічних, токсикологічних і епідеміологічних даних створює наукове підґрунтя для об'єктивної оцінки впливу питної води на здоров'я населення та розробки превентивних заходів.

Ключові слова: підземні води, біогеохімія, мікроелементози, геохімічні ендемії, екологічний ризик.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій. Збалансованість мінерального складу питної води розглядається не лише як критерій її якості, а й як один із визначальних чинників впливу на стан здоров'я населення [8]. Підтримання стабільного хімічного складу організму людини є базовою передумовою його повноцінного функціонування. Порушення оптимального вмісту макро- та мікроелементів, спричинене фізико-географічними, антропогенними та іншими чинниками, призводить до розладів гомеостазу. До групи екологічно обумовлених захворювань відносять біогеохімічні ендемії, або мікроелементози, що проявляються у вигляді патологічних станів, зумовлених дефіцитом, надлишком чи дисбалансом мікроелементів в організмі.

За умов перманентно зростаючого техногенного забруднення поверхневих водних джерел, усе більшу роль відіграють саме підземні води, які мають ряд біогеохімічних переваг з точки зору питно-господарського водопостачання. Як стверджує В.М. Шестопалов та Н.Б. Овчиннікова [9], особлива роль підземних вод для задоволення питних потреб пояснюється тим, що вони мають цілий ряд переваг перед поверхневими водами: краще захищені від забруднення і випаровування, більш якісні, їх запаси меншою мірою залежать від сезонних і багаторічних змін клімату, у багатьох випадках їх можна отримати поблизу споживача. При цьому особливого значення набувають процеси сорбції забруднюючих хімічних сполук крізь умовно водонепроникні породи, що розділяють водоносні горизонти один від одного, а також уповільнені темпи водообміну (у порівнянні з поверхневими водними джерелами). В умовах глобального потепління для посушливих районів підземні води стають необхідним стратегічним запасом прісної питної води. Крім того, вони не залежать від нерівномірності живлення по площі.

Проблематиці забруднення підземних питних вод, а також впливу дефіциту чи надлишку мікроелементів на стан здоров'я населення, яке їх споживає, присвячено значну кількість вітчизняних і зарубіжних наукових досліджень. У світовій науковій практиці спостерігається зростання уваги до питань нормування мінерального складу питної води та прогнозування його впливу на здоров'я людини [5]. Відомості про можливі патологічні зміни в організмі людини, зумовлені як надлишком, так і недостатнім вмістом есенційних (біологічно значущих) елементів, підкреслюють необхідність урахування цих чинників під час оцінювання та прогнозування відповідних ризиків.

В.М. Шестопалов і Н.Б. Овчиннікова [3] зазначають, що на сучасному етапі розвитку науки відсутня повністю обґрунтована відповідь на питання щодо впливу на здоров'я людини навіть тієї частини хімічного складу води, яка представлена неорганічними компонентами природного походження. Автори вказують, що однією з ключових причин цього є обмеженість традиційного хімічного аналізу, в межах якого оцінюється лише вміст основних іонів без урахування їхніх форм існування та комплексних сполук. Науковці підкреслюють, що реакція організму людини визначається не загальним вмістом окремого іона, а концентрацією конкретної хімічної форми речовини. У зв'язку з цим для коректного розуміння впливу питної води на організм людини, а також для оцінювання потенційних ризиків і довгострокових наслідків для здоров'я населення та майбутніх поколінь за умов тривалого споживання води певного складу, необхідно максимально точно характеризувати її хімічний склад, а не обмежуватися наближеними оцінками [3].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. З огляду на природну мінливість кількісного й якісного складу питної води, застосування виключно лінійних методів апроксимації для встановлення взаємозв'язку між показниками захворюваності населення та якістю питної води є малоефективним і методологічно необґрунтованим [9]. У зв'язку з цим актуальним є перехід від чинної системи оцінювання якості питної води за бінарним принципом «відповідає – не відповідає» до підходів, що дають змогу визначати кількісні та/або якісні критерії шкідливого впливу на здоров'я населення, зумовленого екологічним станом джерел питного водопостачання.

На сучасному етапі фізичні та хімічні методи екологічного моніторингу переважно ґрунтуються на зіставленні фактичних рівнів забруднення компонентів природно-територіальних комплексів із встановленими гранично допустимими концентраціями [3]. Водночас чинна нормативна система не забезпечує належного рівня екологічної безпеки, оскільки не гарантує ефективного захисту довкілля від негативного впливу чинників як природного, так і антропогенного походження.

До основних недоліків системи гранично допустимих концентрацій належать неможливість оцінювання вторинних ефектів і пролонгованої дії забруднювальних речовин на живі організми, ігнорування послаблювального або, навпаки, підсилювального впливу природних факторів, а також неврахування антагоністичних і синергічних взаємодій між поліюгантами. Крім того, навіть за високої інформативності результатів ідентифікації забруднених територій застосування таких підходів характеризується значною трудомісткістю та високою вартістю досліджень. У зв'язку з цим доцільно надавати перевагу методам біоіндикації, які дозволяють безпосередньо фіксувати реакції живих організмів на дію різних екологічних чинників.

Наразі активно формується новий напрям геохімічної науки – геохімія людини [3], що орієнтований на встановлення взаємозв'язків між хімічним складом органів і тканин населення окремих територій та геохімічними умовами їх проживання. Розв'язання цієї проблеми потребує не лише накопичення емпіричних даних щодо елементного складу організму людини, але й проведення науково обґрунтованої класифікації хімічних елементів, визначення закономірностей їх міграції та розподілу в різних природних середовищах і функціональних системах організму.

Мета представленої роботи полягає в узагальненні та критичному аналізі сучасних підходів до оцінки впливу хімічного складу питних підземних вод на здоров'я людини, обґрунтуванні доцільності застосування біогеохімічних критеріїв і ризик-орієнтованих методів у системі моніторингу їх якості, а також у визначенні наукових передумов для вдосконалення оцінки екологічної безпеки питного водопостачання з урахуванням довготривалої дії мікроелементів.

Виклад основного матеріалу. Серед різноманітних методів біоіндикації особливе місце посідає біогеохімічний підхід, який передбачає контроль міграції макро- та мікроелементів, а також визначення рівнів їх вмісту в компонентах довкілля й живих організмах із подальшим зіставленням отриманих показників із критичними концентраціями, чинними нормативами та оціночними критеріями.

Біогеохімічна індикація ґрунтується на моніторингу змін елементного хімічного складу та інших параметрів біологічних об'єктів і систем за різних екологічних станів і варіацій умов середовища існування організмів (рис. 1).



Рис. 1. Біогеохімічна індикація за [4]: БГХ – біогеохімічний, МЕ – мікроелемент, Кб – коефіцієнт біологічного поглинання

Під час діагностики мікроелементозів, ідентифікації біогеохімічних провінцій та екологічно неблагодолучних територій фахівці дедалі частіше застосовують інтегровані системні підходи до досліджень. Такі підходи передбачають аналіз специфічних патологічних проявів, використання комплексу морфологічних тестів, у тому числі для оцінювання дії токсикантів, а також проведення цитогенетичних досліджень. У зв'язку з цим значення комплексного вивчення впливу геохімічних та інших чинників у межах біогеохімічних провінцій і так званих фонових територій неухильно зростає.

З огляду на провідну роль біогеохімічних циклів в екосистемах, які об'єднують усі їх компоненти в єдину функціональну систему внаслідок біогенної міграції хімічних елементів і трансформації енергії, біогеохімічний підхід до оцінювання екологічного стану територій є ефективним інструментом для виявлення зон підвищеного ризику, екологічного неблагодолуччя та кризових станів. В основі біогеохімічних критеріїв лежить еколого-біогеохімічна концепція залежності життєдіяльності організмів від концентрацій, співвідношень і форм міграції хімічних елементів у навколишньому середовищі. Ця концепція базується на комплексному аналізі даних про хімічний склад організмів і біокосних систем, критичні рівні мікроелементів, токсикологічні та гігієнічні характеристики, а також на фактах існування патологічних реакцій організмів, зумовлених як надлишком, так і дефіцитом біологічно активних хімічних елементів та їх сполук [3].

Біогеохімічна індикація мікроелементозів переважно базується на встановленні взаємозв'язків між живими організмами та середовищем їх існування через аналіз хімічного елементного складу [3]. Характерні особливості елементного складу біокосних систем і тканин живих організмів є основою для формування критеріїв біогеохімічної оцінки ризику розвитку мікроелементозів. Хоча цей чинник належить до визначальних, його інтерпретація має ґрунтуватися на чітко встановлених причинно-наслідкових зв'язках з біологічними об'єктами. Відповідно, рівні вмісту біологічно активних макро- та мікроелементів у компонентах довкілля, зокрема у водному середовищі, є важливим індикатором біогеохімічного благополуччя територій.

У зв'язку з браком науково обґрунтованих критеріїв оцінювання функціонування ендемічних біогеоценозів актуальним є проведення досліджень, спрямованих на визначення ключових біогеохімічних параметрів, зокрема концентрацій і співвідношень біологічно активних мікроелементів, їх потоків у межах екосистем, показників добового надходження, детального аналізу біогеохімічних трофічних ланцюгів та коефіцієнтів переходу мікроелементів між компонентами середовища [3]. При цьому особливу увагу доцільно приділяти ранжуванню біогеохімічних показників і критеріїв залежно від ступеня прояву ендемічних захворювань, характеру взаємодії мікроелементів у процесах їх міграції в навколишньому середовищі та живих організмах, а також питанням корекції мікроелементозів і біогеохімічного прогнозування стану ендемічних територій.

Застосування науково обґрунтованої системи критеріїв і параметрів у процесі моніторингу мікроелементозів дає змогу отримувати достовірну та об'єктивну інформацію про екологічний стан територій, особливості хімічного складу організмів і середовища їх існування з метою ухвалення своєчасних та ефективних профілактичних рішень. За наявності репрезентативних даних щодо живої речовини та вмісту мікроелементів відкривається можливість створення відповідних геоінформаційних систем і здійснення біогеохімічного моделювання процесів, що відбуваються в межах природно-техногенних комплексів. Водночас реакції організмів на дію екстремальних геохімічних чинників залишаються недостатньо вивченими, а в сучасній медичній практиці під час аналізу патологій людини переважає оцінка загальної захворюваності, тоді як специфічна діагностика мікроелементозів застосовується вкрай обмежено.

З огляду на значну варіабельність елементного складу умовно здорових організмів та його співвідношення з патологічними станами, залишається складним завданням ранжування концентраційного чинника відповідно до рівнів екологічного стану території, таких як норма, зона ризику або кризовий стан.

Протягом останніх десятиліть відслідковування актуальних ризиків стало невід'ємною частиною будь-якої галузі [2]. З-поміж ризиків, що нині викликають найбільшу стурбованість суспільства центральне місце займає екологічний. Ризик є комплексним і охоплює дуже широкий спектр проблем, що обумовлено значним переліком негативних впливів на хід функціонування природних систем. З цих причин, вміння ідентифікувати та чітко конкретизувати нагальні виклики й будь-які інформаційні прогалини відносно досліджуваних об'єктів є вкрай необхідними, як для проведення аналізу поточного, так і прогнозування майбутнього сценарію розвитку подій в рамках локального чи національного масштабів. Іншими словами, проведення якісної оцінки є обов'язковою складовою ефективного управління екологічними ризиками та їх стримування на прийнятних рівнях.

Розроблення та впровадження системних підходів до аналізу стану екологічних систем на сучасному етапі є одним із пріоритетних наукових завдань. Провідне місце в цьому контексті посідають методи оцінювання ризику, що зумовлено вимогами чинного законодавства у сфері техногенної й екологічної безпеки, яке передбачає обов'язковість проведення ризик-аналізу. Нині в більшості країн світу загальновизнані підходи до оцінки ризиків широко застосовуються в різних напрямках моніторингу довкілля, зокрема екологічному, соціально-гігієнічному, кризовому та інших.

У цьому сенсі методологію оцінювання ризику доцільно розглядати як один із ключових системоутворювальних компонентів моніторингу навколишнього природного середовища. Загальноприйнята шкала оцінки екологічного ризику ґрунтується на кількісному вимірюванні ступеня прояву ризику, пов'язаного з певними видами діяльності, де під ризиком розуміють сукупність таких показників, як масштаб можливих збитків від небажаних подій і явищ (економічні втрати, рівень захворюваності, травматизм, смертність тощо) та ймовірність їх виникнення. У наукових дослідженнях екологічний ризик також трактується як ймовірність настання несприятливих наслідків для довкілля, зокрема змін стану природних об'єктів і чинників [3]. Загалом ризик визначають як кількісно виражену ймовірність виникнення надзвичайних подій упродовж заданого часового інтервалу.

У сучасному світі аналіз ризику для здоров'я населення з суто практичного інструменту, розробленого для прийняття управлінських рішень, трансформувався в один із найважливіших елементів оцінки не тільки несприятливого впливу та гігієнічного нормування факторів довкілля, але й екології, як інтегрованої, міждисциплінарної науки, що вивчає взаємозв'язки людини з середовищем існування [2].

З метою визначення ступеня екологічного ризику для здоров'я людини науковці пропонують застосовувати біогеохімічні критерії, в основу яких покладені результати епідеміологічних, санітарно-гігієнічних та біогеохімічних досліджень [3]. Перевагою цих критеріїв є те, що вони носять системний характер. Визначення граничних (критичних) концентрацій хімічних елементів та біогеохімічна модель гомеостазу лежать в основі еколого-біогеохімічних критеріїв, які представлені графічно на рис. 2. Дана схема відображає загальний закон розподілу, відомий в екології під назвою закону мінімуму Ю. Лібіха або закону біологічної резистентності Ламотта.

У медико-науковому контексті поняття ризику щодо здоров'я людини сформувалося в середині ХХ століття. Сучасні трактування цього терміна, як і спроби його теоретичного обґрунтування, мають певною мірою умовний характер. Водночас ризик доцільно розуміти як ймовірність виникнення несприятливих або негативних ефектів у окремій особи чи групи

населення за умови впливу визначеної дози або концентрації небезпечного чинника в конкретних умовах [6]. В англійській науковій літературі традиційно розмежують поняття ризику для здоров'я людини (human health risk) та ризику порушення стану природного навколишнього середовища (environmental risk). Натомість у вітчизняних дослідженнях ці категорії зазвичай об'єднують під узагальнювальним терміном «екологічний ризик», що зумовлено орієнтацією оцінки стану довкілля передусім на його вплив на здоров'я та благополуччя людини. Згідно [4], екологічний ризик можна розглядати у двох аспектах: потенційному та реальному. Проте при оцінюванні екологічної безпеки питного водопостачання перевагу слід надавати потенційному екологічному ризику. З цих позицій Д.О. Крисінська та Л.П. Клименко пропонують застосовувати ризик-орієнтовані методи [4].

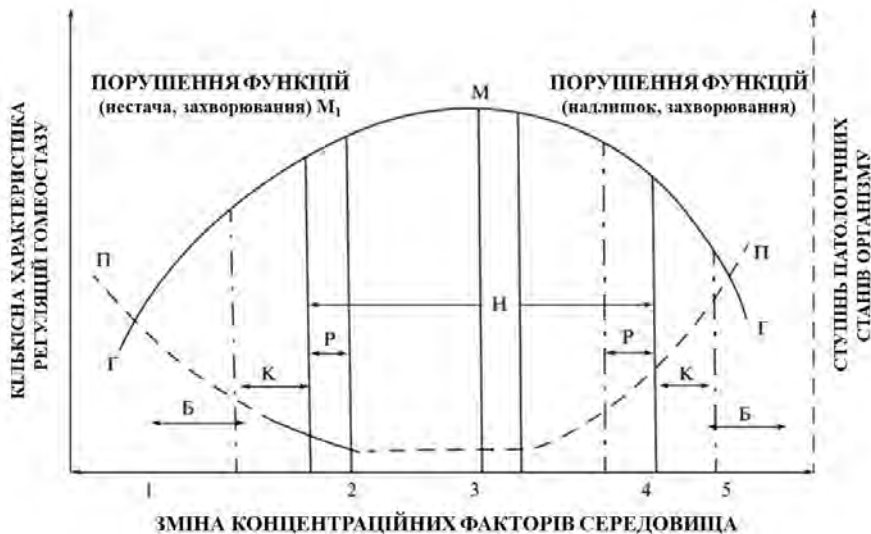


Рис. 2. Залежність регуляторних фізіологічних функцій організму (Г) та ступеня його патологічних станів (П) від концентраційних факторів середовища за [3]: 1 – стан нестачі хімічних елементів; 2 – нижня критична (гранична) концентрація (межа), 3 – інтервал нормальних концентрацій (смість гомеостазу, що відповідає відносно задовільному екологічному стану середовища (Н)); 4 – верхня критична (гранична) концентрація; 5 – умови надлишку хімічних елементів або їх сполук; М – потенційна середня оптимальна потреба організму в хімічних елементах; M_1 – ймовірне значення фізіологічної мінімальної потреби в хімічних елементах; Б, К, Р – інтервали концентрацій хімічних елементів та їх співвідношень, що відповідають зонам екологічного лиха, кризи та ризику

Автори підкреслюють, що чинна система аналізу та контролю нормованих показників якості питної води, яка базується на окремому визначенні їх концентрацій і порівнянні з установленими нормативами, не завжди є результативною, оскільки не враховує негативні наслідки для здоров'я людини, пов'язані з реалізацією потенційних ризиків, зокрема зростання захворюваності, рівня інвалідності та смертності.

Для обчислення значень екологічних ризиків авторами використано методи математичного моделювання та прогнозування з реалізацією моделей з використанням програмних комплексів Microsoft Office Excel 2013 та Curve Expert). Науковці дійшли висновку, що найефективнішим є використання методики розрахунку екологічного потенційного ризику, який є головним інструментом оцінювання екологічної безпеки.

Самі поняття «потенційний» та «реальний» екологічний ризик можна тлумачити наступним чином [3]. Потенційний екологічний ризик – це явище небезпеки порушення відносин живих організмів з навколишнім середовищем внаслідок дії природних чи антропогенних чинників. Реальний екологічний ризик утворюється потенційним з урахуванням ймовірної частоти його реалізації.

Для оцінювання потенційного ризику для здоров'я людини, пов'язаного із забрудненням питної води, Д.О. Крисінська та Л.П. Клименко пропонують використовувати модель оцінювання потенційного ризику [4]:

$$R = 1 - \exp(\ln(0,84)/MAC \cdot C_s) \cdot C_r, \quad (1)$$

де: R – ймовірність розвитку токсичних ефектів;

C_s – концентрація речовини у питній воді, мг/дм³;

MAC – гранично допустима концентрація, мг/дм³;

C_r – коефіцієнт запасу (для всіх речовин – 10, для свинцю – 3, для канцерогенних речовин – 100).

Межі потенційного ризику у запропонованій методиці визначають так:

- 0-0,02 – прийнятний;
- 0,021-0,16 – задовільний;
- 0,161-0,50 – незадовільний;
- 0,51-0,84 – небезпечний;
- 0,85-1 – надзвичайно небезпечний.

У роботі [6] науковцями за формулами 2 і 3 були визначені кількісні показники ризику: середньодобова доза надходження та коефіцієнт небезпеки як показники токсичного ефекту хімічних компонентів в результаті постійного споживання підземних вод без проведення спеціальної процедури її очищення.

Середньодобова доза надходження хімічної речовини протягом всього життя людини разом з питною водою розраховується за допомогою наступної формули:

$$СДД = \frac{[C \times V \times ED \times EF]}{[BW \times AT \times 365]}, \quad (2)$$

де: СДД – середньодобова доза надходження хімічної речовини протягом життя, мг/кг×доба;

C – концентрація речовини в питній воді, мг/дм³;

V – величина споживання води, 2 дм³/добу;

ED – тривалість впливу, 30 років;

EF – частота впливу, 350 днів/рік;

BW – маса тіла людини, 70 кг;

AT – період усереднення експозиції, 30 років;

365 – кількість днів в одному році.

Ризик можливого розвитку неканцерогенних ефектів оцінювався за показниками коефіцієнтів небезпеки. Коефіцієнтом небезпеки (КН) є відношення впливаючої дози або концентрації хімічної речовини до його безпечного (референтного) рівня впливу. Він розраховується за такою формулою:

$$КН = \frac{СД_а}{П_о}, \quad (3)$$

де $ПД$ – порогова (референтна) доза, мг/кг×доба.

Згідно з відповідною методологією оцінки ризику для здоров'я населення, автори [6] за вищенаведеними формулами визначали кількісні показники ризику: порогова (референтна) доза ($ПД$), середньодобова доза надходження ($СДД$) та коефіцієнт небезпеки як показники токсичного ефекту хімічних компонентів в результаті постійного споживання підземних вод без проведення спеціальної процедури її очищення.

При впливі компонентів, що містяться у підземній воді на одні й ті ж органи та системи організму людини найбільш вірогідним типом їх комбінованої дії є сумація. Автори [6] відмічали чітку тенденцію – води горизонтів, що залягають глибше, характеризуються меншими коефіцієнтами небезпеки зважаючи на їх більшу захищеність від потрапляння шкідливих речовин з поверхні.

Так чи інакше сучасні методи розрахунків відносного ризику для здоров'я населення тією чи іншою мірою засновані на оцінці співвідношення між «дозою» забруднювача і результируючим «ефектом», який може проявлятися у вигляді як швидких реакцій – інфекційних захворювань або гострих отруєнь (якщо дози впливу великі), так і відтермінованих, наприклад зростання захворюваності через якийсь час. З цих причин, розуміння обсягів токсичної речовини, яку в перерахунку на масу тіла можна вживати щоденно протягом всього життя без суттєвого ризику для здоров'я разом із їжею та питною водою є невід'ємним елементом у процесі оцінки ризику для здоров'я [2].

Для оцінювання впливу хімічних чинників питної води на здоров'я населення у праці [7] застосовано модель неканцерогенного ризику. Розрахунок здійснюється безпороговим методом, де ключовим параметром є індивідуальні величини безпечних доз для конкретних речовин.

$$Risk = 1 - \exp\left(-\frac{\ln(0,84)}{ГДК_3} C\right), \quad (4)$$

де $Risk$ – імовірність розвитку неспецифічних токсичних ефектів при хронічній інтоксикації (від 0 до 1);

C – середня щоденна концентрація речовини, що надходить в організм людини з питною водою протягом життя. Для оцінки ефектів, пов'язаних із тривалим впливом речовин, використовується середнє значення концентрацій за 3 роки;

ГДК – гранично допустима концентрація речовин;

K_3 – коефіцієнт запасу, який приймається залежно від вираженої ймовірності віддалених наслідків.

Для інтерпретації результатів неканцерогенного ризику застосовують рангову шкалу, де величини понад 0,05 свідчать про наявність достовірного токсичного впливу. Оцінка сумарного ризику обмежується групами речовин односпрямованої дії. Враховуючи однотипний неспецифічний ефект компонентів питної води при малих концентраціях, загальну якість водоспоживання оцінюють за формулою (5) (якщо сумарний безпороговий ризик перевищує 0,001):

$$Risk_{\text{сум}} = 1 - (1 - Risk_1) \cdot (1 - Risk_2) \cdot \dots \cdot (1 - Risk_n), \quad (5)$$

де $Risk_{\text{сум}}$ – ризик від комбінованого впливу речовин;

$Risk_1, Risk_2, Risk_3$ – ризики від впливу кожної окремої речовини.

При цьому, чим ближче до одиниці величина сумарного ризику, тим імовірність настання негативних наслідків буде вища.

Для прогнозування можливих наслідків споживання питної води застосовують показник скорочення тривалості життя LLE (*Loss of Life Expectancy*), розроблений Бернардом Коеном [10]. Цей параметр визначається як похідна від імовірності настання небезпечної події або впливу ($Risk$) та середнього значення очікуваного залишку життя (L):

$$LLE = Risk L, \quad (6)$$

де L – середня величина залишку життя людини, роки.

Оцінку ризику загрози здоров'ю людини внаслідок впливу порогових доз токсикантів неканцерогенного характеру проводиться відповідно методики, рекомендованої Агентством із захисту навколишнього середовища США [11]. Розраховується середньодобове надходження токсиканту з питною водою m (мг/дм³), віднесене до 1 кг маси тіла людини:

$$m = C \cdot V \cdot f \cdot T_p / P \cdot T, \quad (7)$$

де C і V – концентрації забруднювача в питній воді, мг/дм³;

V – інтенсивність надходження забруднювача в організм, л/добу, приймається рівною 2 літри води на добу;

f – кількість днів у році, протягом яких відбувається вплив токсиканту;

T_p – кількість років, протягом яких відбувається вплив токсиканту;

P – середня маса тіла дорослої людини, що приймається рівною 70 кг;

T – усереднений час впливу токсиканту, приймається рівним 30 років, що складає 10950 діб.

При цьому індекс небезпеки HQ (Hazard Quotient) визначається за формулою:

$$HQ = m / HD, \quad (8)$$

де HD – порогова потужність дози.

Оцінка ризику загрози здоров'ю відповідно HQ здійснюється згідно зі специфічними критеріями. Якщо в питній воді містяться кілька токсикантів, то повний індекс небезпеки HQ_t дорівнює сумі індексів небезпеки окремих токсикантів:

$$HQ_t = HQ_1 + HQ_2 + HQ_3 + \dots + HQ_n. \quad (9)$$

Якщо $HQ_t < 1$, то небезпеки немає – ризик загрози здоров'ю відсутній або ним можна знехтувати; якщо $HQ_t = 1$, це гранична величина, яка не потребує термінових заходів, однак не може розглядатися як досить прийнятна; якщо $HQ_t > 1$ – ймовірність розвитку шкідливих ефектів зростає пропорційно збільшенню HQ_t [5].

Висновки та перспективи подальшого дослідження. Протягом останніх кількох десятиліть оцінка ризику для здоров'я людини була одним з основних елементів охорони навколишнього середовища. Часто, результатами оцінки ризику є числові значення, отримані внаслідок токсикологічних досліджень, які виконувалися відносно умов із високими дозами окремих хімічних речовин [2]. Цей підхід суттєво сприяв розвитку розуміння явних наслідків їх впливу та приділення їм більше уваги. Процес оцінювання ризиків для здоров'я, спричинених хімічним забрудненням довкілля, ускладнюється низкою чинників. Зокрема, суттєвий вплив мають індивідуальна чутливість і неоднорідність популяції, тривалий латентний період між дією речовин та появою клінічних симптомів, а також наявність загального фонового забруднення. Усвідомлення першого – є фактором, який часто складно досягнути та включити в оцінку, а ефекти впливу, що мав місце в ранньому віці часто мають відстрочений характер. Об'єктивну оцінку ризиків часто обмежує фонове забруднення середовища. Воно здатне викривляти фонові показники здоров'я та коригувати реакцію організму на вплив конкретних хімічних агентів. Збільшення обсягів даних щодо небезпеки та впливу різного роду хімічних речовин може бути використано для кращого розуміння біологічних шляхів, які призводять до несприятливих наслідків для здоров'я. Одним із підходів, який може підвищити наше розуміння того, як хімічні речовини можуть впливати на здоров'я, є використання несприятливих результатів, пов'язуючи їх з ініціюючими ключовими подіями. В той же час інтеграція різноманітних потоків даних (наприклад, гідрогеологічних, епідеміологічних, токсикологічних та ін.) та врахування багатьох джерел і шляхів надходження впливу здатне суттєво покращити систему інформування та сприяти прийняттю більш ефективних екологічних рішень щодо охорони здоров'я.

Таким чином, встановлення впливу компонентів хімічного складу питних підземних вод на здоров'я людини є складним питанням. Для його вирішення необхідно застосовувати сучасні високочутливі аналітичні методи аналізу води, термодинамічне моделювання форм міграції хімічних елементів у водному розчині, а також науково-обґрунтовану систему критеріїв та параметрів моніторингу мікроелементозів. Цей комплексний підхід дасть можливість виявляти біогеохімічні провінції та ендемії, оцінювати реальну загрозу для здоров'я людини та обґрунтовувати необхідність розробки відповідних превентивних заходів [3].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Клімкіна І. І., Грунтова В. Ю. Основи екологічної токсикології. Методичні рекомендації. Дніпропетровськ : НГУ, 2015. 44 с.
2. Кошарна С. К. Оцінювання екологічних ризиків : навч. посіб. Київ : КНУ ім. Тараса Шевченка, 2023. 212 с. URL: <https://geol.univ.kiev.ua>
3. Кошлякова Т. О. Гідрогеохімія мікроелементів водоносних систем селітебних ландшафтів України: дис. ... д-ра геол. наук : 04.00.02. Київ, 2025. 337 с.
4. Крисінська Д. О., Клименко Л. П. Експериментальні дослідження якості питної води та оцінювання екологічної безпеки питного водопостачання. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2021. № 31. Вип. 1. С. 147–151. <https://doi.org/10.36930/40310124>
5. Мокієнко А. В. Мінеральний склад питних та мінеральних вод як фактор впливу на здоров'я населення (огляд літератури). *Вода: гігієна і екологія*. 2015. № 1–2(3). С. 50–60.
6. Прибилова В. М., Качан А. М. Хімічний склад підземних вод Харківської області як фактор ризику для здоров'я населення. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія»*. 2017. Вип. 46. С. 37–45.
7. Рой І. О. Підвищення екологічної безпеки питного водопостачання шляхом інтенсифікації процесу окислення органічних речовин: дис. ... канд. техн. наук : 21.06.01. Суми, 2017. 187 с.
8. Сафранов Т. А., Грабко Н. В., Поліщук А. А., Трохименко Г. Г. Збалансованість мінерального складу питних вод як чинник впливу на здоров'я населення міських агломерацій північно-західного Причорномор'я. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2016. № 20. С. 5–17.
9. Шестопалов В. М., Овчиннікова Н. Б. Дослідження рівноважного стану води та проблема впливу питної та мінеральної води на здоров'я людини. *Геологічний журнал*. 2017. № 358. Вип. 1. С. 23–36.
10. Bernard L. C. Risks in Perspective. *Journal of American Physicians and Surgeons*. 2003. Vol. 8. № 2. P. 50–53.
11. Kammen D. M., Hassenzaht D. M. Should We Risk It? *The Mathematical Gazette*. 2002. Vol. 86. P. 376.

REFERENCES

1. Klimkina, I. I. & Gruntova V. Yu. (2015). *Osnovy ekolohichnoyi toksykolohiyi. Metodychni rekomendatsiyi [Basics of environmental toxicology. Guidelines]*. Dnipropetrovsk: National Mining University. [in Ukrainian].
2. Kosharna, S. K. (2023). *Otsinyuvannya ekolohichnykh ryzykiv : navchalnyy posibnyk [Assessment of environmental risks: Training manual]*. Online resource of Taras Shevchenko National University of Kyiv. URL: <https://geol.univ.kiev.ua> [in Ukrainian].
3. Koshliakova, T. O. (2025). *Hidroheokhimiya mikroelementiv vodonosnykh system selitebnykh landshaftiv Ukrayiny [Hydrogeochemistry of trace elements of aquifer systems of residential landscapes of Ukraine]*. Doctoral Dissertation: 04.00.02. Kyiv. [in Ukrainian].
4. Krysinska, D. O. & Klymenko, L. P. (2021). *Eksperymentalni doslidzhennya yakosti pytnoyi vody ta otsinyuvannya ekolohichnoyi bezpeky pytnoho vodopostachannya [Experimental studies of drinking water quality and assessment of ecological safety of drinking water supply]*. *Scientific Bulletin of the Ukrainian National Forestry University*, 31 (1), 147–151. <https://doi.org/10.36930/40310124> [in Ukrainian].
5. Mokiienko, A. V. (2015). *Mineralnyy sklad pytnykh ta mineralnykh vod yak faktor vplyvu na zdorovya naseleння (ohlyad literatury) [The mineral composition of drinking and mineral waters as a factor affecting public health (literature review)]*. *Water: hygiene and ecology*, 1–2 (3), 50–60. [in Ukrainian].
6. Prybylova, V. M. & Kachan, A. M. (2017). *Khimichnyy sklad pidzemnykh vod Kharkivskoyi oblasti yak faktor ryzyku dlya zdorovya naseleння [Chemical composition of underground waters of the Kharkiv region as a risk factor for public health] // Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series Geology. Geography. Ecology*, 46, 37–45. [in Ukrainian].
7. Roi, I. O. (2017). *Pidvyshchennya ekolohichnoyi bezpeky pytnoho vodopostachannya shlyakhom intenyfikatsiyi protsesu okyslennya orhanichnykh rechovyn [Increasing the*

- ecological safety of drinking water supply by intensifying the process of oxidation of organic substances*]: PhD theses: 21.06.01. Sumy. [in Ukrainian].
8. Safranov, T. A., Hrabko, N. V., Polishchuk, A. A., & Trokhymenko H. H. (2016). Zbalansovanist mineralnoho skladu pytnykh vod yak chynnyk vplyvu na zdorovya naselennya miskykh ahlomeratsiy pivnichno-zakhidnoho Prychornomor'ya [The balance of the mineral composition of drinking water as a factor affecting the health of the population of the urban agglomerations of the northwestern Black Sea region]. *Bulletin of Odessa State Environmental University*, 20, 5–17. [in Ukrainian].
 9. Shestopalov, V. M. & Ovchynnikova, N. B. (2017). Doslidzhennya rivnovazhnogo stanu vody ta problema vplyvu pytnoyi ta mineralnoyi vody na zdorovya lyudyny [Research on the equilibrium state of water and the problem of the influence of drinking and mineral water on human health]. *Geological Journal*, 1 (358), P. 23–36. [in Ukrainian].
 10. Bernard, L. C. (2003). Risks in Perspective. *Journal of American Physicians and Surgeons*, 8 (2), P. 50–53.
 11. Kammen, D. M. & Hassenzaht, D. M. (2002). Should We Risk It? *The Mathematical Gazette*, 86, 376.

THE IMPACT OF WATER QUALITY ON GROUNDWATER CONSUMERS' HEALTH AND BIOGEOCHEMICAL CRITERIA FOR QUALITY ASSESSMENT

Tetiana Koshliakova

*M. P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the National Academy of Sciences of Ukraine, 34, Palladina Ave., Kyiv, Ukraine, 03142
e-mail: tatianakoshliakova@gmail.com*

This article analyzes the role of water quality in shaping the health of populations that rely on drinking groundwater. It emphasizes biogeochemical criteria for assessing the quality and environmental safety of this water. The study is particularly relevant given the increasing anthropogenic pressure on water resources and the urgent need to reassess traditional methods of regulating the chemical composition of drinking water, focusing on its long-term effects on human health.

The current water quality assessment system primarily compares individual component concentrations to maximum allowable values. However, this approach is overly simplistic, as it does not adequately account for the prolonged effects of trace elements, their antagonistic and synergistic interactions, or the ways in which chemical elements migrate within aquatic environments.

This article reviews domestic and international scientific publications to analyze modern approaches to assessing health risks associated with consuming groundwater of various chemical compositions. The methods discussed include potential and actual environmental risk assessments, evaluations of non-carcinogenic toxic effects, and calculations of hazard quotients. Special attention is given to biogeochemical indication as a tool for identifying disorders caused by trace elements and geochemical endemics. This approach analyzes the relationships between water chemical composition, biogeochemical systems, and the responses of living organisms.

The article supports the use of biogeochemical criteria within groundwater quality monitoring systems, as they allow for the assessment of the environmental status of areas based on a scale of “normal – risk – crisis.” Furthermore, the application of modern, highly sensitive analytical methods, thermodynamic modeling, and the integration of hydrogeochemical, toxicological, and epidemiological data provides a solid scientific foundation for objectively assessing the impact of drinking water on public health, as well as for developing appropriate preventive measures.

Key words: groundwaters, biogeochemistry, trace element diseases, geochemical endemics, environmental risk.

Дата першого надходження статті до видання: 13.01.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 20.03.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026

УДК 553.6:338(477)

DOI <https://doi.org/10.30970/vgl.40.14>

ГЕОЛОГО-ЕКОНОМІЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ БУДІВЕЛЬНОЇ СИРОВИНИ ЗАХІДНОГО РЕГІОНУ УКРАЇНИ

Павло Скибіцький <https://orcid.org/0009-0002-1428-2881>

*Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005
e-mail: skybitskyi.pavlo@gmail.com*

У статті здійснено стислий аналіз геолого-економічного потенціалу будівельної сировини Західного регіону України в умовах сучасних економічних трансформацій та повоєнного відновлення держави. Детально розкрито актуальність формування ефективної мінерально-сировинної бази, охарактеризовано тектонічну будову регіону та стратиграфічні передумови формування родовищ. Наведено геологічну характеристику конкретних родовищ карбонатної, глинистої, піщано-гравійної та вулканогенної сировини із зазначенням потужності покладів, глибини залягання та умов розробки. Здійснено комплексну геолого-економічну оцінку родовищ із урахуванням запасів, коефіцієнта розкриття, умов видобутку, транспортної доступності та ринкового попиту. Встановлено, що економічна ефективність розробки значною мірою залежить від логістичних чинників і близькості до споживача, а також від технологічних особливостей видобутку. Показано, що карбонатна та піщано-гравійна сировина характеризується відносно низькою собівартістю видобутку, тоді як для вулканогенних порід характерні вищі витрати, компенсовані високими експлуатаційними властивостями продукції. Особливу увагу приділено екологічним аспектам освоєння родовищ, зокрема впливу відкритого способу розробки на ґрунтовий покрив, рельєф, гідрогеологічний режим та якість атмосферного повітря. Розглянуто ризики порушення природних екосистем, зміни водного балансу територій і активізації ерозійних процесів. Обґрунтовано необхідність впровадження рекультивациі порушених земель, екологічного моніторингу та оцінки впливу на довкілля як невід'ємних складових геолого-економічної оцінки родовищ. Обґрунтовано перспективи розвитку мінерально-сировинної бази Західного регіону України на засадах сталого природокористування, раціонального використання ресурсів та інтеграції екологічних стандартів у процеси надкористування. Визначено, що поєднання сприятливих природних умов, вигідного географічного положення та сучасних технологій видобутку створює передумови для ефективного використання ресурсного потенціалу регіону, що є важливим чинником економічної стабілізації та відновлення держави в післявоєнний період.

Ключові слова: мінерально-сировинна база будівельної сировини Західного регіону України, геолого-економічний чинник, оцінки впливу на довкілля.

Постановка проблеми. Показати, як аналіз геолого-економічного потенціалу будівельної сировини Західного регіону України обґрунтовує перспективи розвитку мінерально-сировинної бази регіону.

Мета – навести геолого-економічну характеристику конкретних родовищ будівельної сировини та умов їхньої розробки з урахуванням гірничо-геологічних і логістичних чинників.

Виклад основного матеріалу. Будівельна сировина є фундаментальною складовою матеріальної бази держави, оскільки забезпечує функціонування інфраструктури,

промислового комплексу, житлового будівництва та транспортної системи. В умовах воєнних руйнувань і необхідності масштабного відновлення територій України проблема забезпечення внутрішнього ринку власними ресурсами набуває стратегічного характеру. Очікуване зростання попиту на цемент, бетон, щебінь і керамічні матеріали вимагає переоцінки національної мінерально-сировинної бази та її регіональної структури [1].

Актуальність дослідження зумовлена також необхідністю мінімізації імпортозалежності у сфері будівельних матеріалів, зниження логістичних витрат та формування регіонально збалансованої сировинної політики. У структурі собівартості будівельної продукції транспортна складова часто перевищує третину витрат, що робить локальні родовища ключовим чинником економічної ефективності [2]. Західний регіон України, маючи вигідне географічне положення та розвинену транспортну мережу, здатний забезпечити значну частину потреб у будівельній сировині.

Геоструктурно Західний регіон України охоплює Волино-Подільську плиту, Передкарпатський прогин, Українські складчасті Карпати та Закарпатський внутрішній прогин. Формування цих структур пов'язане з різними етапами геодинамічної еволюції – від стабілізації докембрійської платформи до альпійських складчастих процесів [3].

В контексті голого-економічного потенціалу будівельної сировини стисло розглянемо деякі приклади певних її видів.

Волино-Подільська плита є південно-західною окраїною Східноєвропейської платформи. Її кристалічний фундамент складений архейсько-протерозойськими гнейсами та гранітоїдами, перекритими осадовим чохлам потужністю до 2-3 км. Верхньокрейдіві карбонатні товщі характеризуються моноклінальним заляганням з незначним зануренням на південний захід. У межах цієї структури розташоване Здолбунівське родовище вапняків, приурочене до верхньокрейдівих відкладів. Потужність продуктивної товщі становить 15-25 м, глибина залягання – 0-10 м, потужність розкривних порід – 2-5 м. Геологічна будова проста, без значних тектонічних порушень, що сприяє стабільності гірничих робіт [4].

Передкарпатський прогин сформувався внаслідок насуву Карпатських покриттів у неогеновий час. Потужність моласових відкладів сягає 3-5 км. Вони представлені глинами, пісками, алевролітами та конгломератами. Коломийське родовище глини приурочене до неогенових товщ і характеризується лінзоподібною формою покладів. Потужність корисної товщі становить 5-18 м, глибина залягання – до 12 м. Мінералогічний склад (каолініт, іліт, монтморилоніт) визначає високу пластичність та технологічну придатність для виробництва керамічних матеріалів [5].

Українські Карпати представлені складчасто-насувною системою флішових товщ крейдово-палеогенового віку. У межах долини Дністра сформувалися четвертинні алювіальні відклади, що утворюють Дністровське родовище піщано-гравійної сировини. Потужність продуктивної товщі становить 6-12 м, глибина залягання – до 5 м. Матеріал представлений кварцовими пісками та гравієм із уламками пісковиків флішу. Відносна однорідність розрізу дозволяє застосовувати механізовані методи видобутку [4].

Закарпатський внутрішній прогин пов'язаний із неогеновим вулканізмом. Мужіївське родовище андезитів приурочене до Вигорлат-Гутинського вулканічного пасма. Потужність корисної товщі сягає 40 м, розкрив не перевищує 3 м. Породи характеризуються високою міцністю (120-160 МПа) та морозостійкістю понад 200 циклів, що визначає їх використання у дорожньому та гідротехнічному будівництві [6].

Геолого-економічна оцінка зазначених родовищ враховує запаси, гірничо-геологічні умови, коефіцієнт розкриття, логістичну доступність і ринковий попит. Для Здолбунівського родовища характерний низький коефіцієнт розкриття (0,2-0,3) та близькість до цементного заводу, що забезпечує високу економічну ефективність. Коломийське родовище глини

має помірну рентабельність, яка зростає за умови наявності локального виробництва цегли. Дністровське родовище піщано-гравійної суміші характеризується низькою собівартістю видобутку, однак значну роль відіграють транспортні витрати. Мужіївське родовище андезитів має вищі витрати на видобуток через буро-вибухові роботи, проте висока якість щебеню забезпечує його конкурентоспроможність [2].

Важливим компонентом сучасної геолого-економічної оцінки родовищ будівельної сировини є екологічний аналіз [7], який визначає допустимість та масштаби їх освоєння. У Західному регіоні України екологічний фактор має підвищене значення через високу природну цінність територій, наявність гірських ландшафтів, розвинутої річкової мережі та рекреаційного потенціалу.

Відкритий спосіб розробки, що є переважаючим для карбонатних, глинистих і піщано-гравійних родовищ, супроводжується порушенням ґрунтового покриву та трансформацією природного рельєфу. Зняття родючого шару ґрунту, формування кар'єрних виїмок та відвалів призводять до зміни морфології місцевості, зменшення площі сільськогосподарських угідь і порушення природних біоценозів. У межах Волино-Подільської плити такі зміни мають локальний характер, однак у гірських умовах Карпат наслідки можуть бути більш суттєвими через підвищену ерозійну небезпеку.

Особливої уваги потребує вплив видобувної діяльності на гідрогеологічний режим територій [7]. Розкриття водоносних горизонтів, дренавання кар'єрів та зміна поверхневого стоку можуть спричинити зниження рівня ґрунтових вод або, навпаки, локальне підтоплення прилеглих територій. Для алювіальних родовищ Дністра та інших великих річок існує ризик зміни руслових процесів та порушення природного балансу наносів. Неконтрольований видобуток піщано-гравійної суміші може призвести до активізації руслової ерозії та підмивання берегів.

У процесі видобутку щебеневі сировини (андезитів, базальтів) застосовуються буро-вибухові роботи, що супроводжуються пиловими викидами та вібраційним впливом на навколишнє середовище. Пил, який утворюється під час дроблення та транспортування гірничої маси, може поширюватися на значні відстані, погіршуючи якість атмосферного повітря. Зниження пилового навантаження досягається шляхом використання систем зрощення, пилогазоочисного обладнання та герметизації вузлів дроблення.

Шумове навантаження є ще одним важливим негативним екологічним чинником. У районах з щільною забудовою або поблизу рекреаційних зон воно може створювати соціальну напругу. Тому під час проектування кар'єрів необхідно враховувати санітарно-захисні зони та нормативи гранично допустимих рівнів шуму.

Одним із ключових напрямів мінімізації негативного впливу є рекультивація порушених земель. Вона здійснюється у два етапи: технічний і біологічний. Технічна рекультивація включає планування поверхні відпрацьованого кар'єру, формування стійких укосів, створення дренажної системи та нанесення родючого шару ґрунту. Біологічна рекультивація передбачає відновлення рослинного покриву шляхом засівання трав, висаджування чагарників і деревних порід. У гірських районах доцільним є створення лісових насаджень, що сприяють стабілізації схилів і зменшенню ерозійних процесів.

Перспективним напрямом є вторинне використання відпрацьованих кар'єрів. У практиці надрокористування можливе створення штучних водойм, рекреаційних зон або об'єктів альтернативної енергетики. Такий підхід дозволяє інтегрувати гірничі об'єкти у регіональний ландшафт і зменшити довгострокові екологічні ризики.

Отже, екологічна складова є невід'ємною частиною геолого-економічної оцінки родовищ будівельної сировини Західного регіону України. Рациональне поєднання економічної доцільності та природоохоронних заходів забезпечує можливість довготривалого використання ресурсів без втрати екологічної рівноваги території.

В умовах гармонізації українського законодавства з європейськими стандартами екологічна складова геолого-економічної оцінки набуває системного характеру. Проведення оцінки впливу на довкілля (ОВД), екологічного моніторингу та впровадження принципів сталого розвитку стають обов'язковими умовами функціонування видобувних підприємств. Таким чином, екологічний фактор перетворюється з обмеження на інструмент підвищення ефективності та соціальної прийнятності освоєння родовищ [7].

Висновки. Таким чином, Західний регіон України має значний геолого-економічний потенціал будівельної сировини. Комплексне поєднання сприятливих гірничо-геологічних умов, транспортної доступності та модернізації технологій видобутку за умови дотримання екологічних стандартів забезпечує можливість сталого розвитку будівельної галузі та ефективного економічного відновлення держави.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Геологія України : підручник / за ред. П. Ф. Гожики. Київ : Наукова думка, 2010. 608 с.
2. Мінерально-сировинна база України : монографія / за ред. М. М. Коржнева. Київ, 2019. 312 с.
3. Тектоніка України : монографія / за ред. В. І. Старостенко. Київ : Інститут геофізики НАН України, 2015. 280 с.
4. Атлас родовищ корисних копалин України / за ред. Л. С. Галецького. Київ, 2001. 181 с.
5. Геологія Українських Карпат : монографія / за ред. С. М. Царика. Львів, 2014. 504 с.
6. Матеріали Державної комісії України по запасах корисних копалин (ДКЗ України) щодо запасів андезитів. Київ : ДКЗ України, 2003. 120 с.
7. Екологічні аспекти надрокористування : монографія / за ред. О. М. Адаменко. Київ, 2018. 256 с.

REFERENCES

1. Heolohiia Ukrainy : pidruchnyk / za red. P. F. Hozhyka. Kyiv : Naukova dumka, 2010. 608 s.
2. Mineralno-syrovynna baza Ukrainy : monohrafiia / za red. M. M. Korzhneva. Kyiv, 2019. 312 s.
3. Tektonika Ukrainy : monohrafiia / za red. V. I. Starostenka. Kyiv : Instytut heofizyky NAN Ukrainy, 2015. 280 s.
4. Atlas rodovyshch korysnykh kopalyn Ukrainy / za red. L. S. Haletskoho. Kyiv, 2001. 181 s.
5. Heolohiia Ukrainykh Karpat : monohrafiia / za red. S. M. Tsaryka. Lviv, 2014. 504 s.
6. Materialy Derzhavnoi komisii Ukrainy po zapasakh korysnykh kopalyn (DKZ Ukrainy) shchodo zapasiv andezytiv. Kyiv : DKZ Ukrainy, 2003. 120 s.
7. Ekolohichni aspekty nadrokorystuvannia : monohrafiia / za red. O. M. Adamenka. Kyiv, 2018. 256 s.

GEOLOGICAL AND ECONOMIC POTENTIAL OF CONSTRUCTION RAW MATERIALS OF THE WESTERN REGION OF UKRAINE

Pavlo Skibytskyi

Ivan Franko National University of Lviv, 4, Hrushevskoho Str., Lviv, Ukraine, 79005
e-mail: skybitskyi.pavlo@gmail.com

The article presents a concise analysis of the geological and economic potential of construction raw materials in the Western region of Ukraine under conditions of modern economic transformations and post-war recovery of the state. The relevance of forming an efficient mineral resource base is

substantiated, and the tectonic structure of the region as well as the stratigraphic prerequisites for the formation of deposits are described in detail. A geological characterization of specific deposits of carbonate, clay, sand and gravel, and volcanogenic raw materials is provided, including the thickness of deposits, depth of occurrence, and mining conditions. A comprehensive geological and economic assessment of the deposits has been carried out, taking into account reserves, stripping ratio, mining conditions, transport accessibility, and market demand. It has been established that the economic efficiency of deposit development largely depends on logistical factors and proximity to consumers, as well as on the technological features of extraction. It is shown that carbonate and sand-gravel raw materials are characterized by relatively low production costs, whereas volcanogenic rocks involve higher extraction costs, which are compensated by the high performance properties of the final products. Particular attention is paid to the environmental aspects of deposit development, including the impact of open-pit mining on soil cover, relief, hydrogeological regime, and air quality. The risks of disturbance of natural ecosystems, changes in the water balance of territories, and intensification of erosion processes are considered. The necessity of implementing land reclamation, environmental monitoring, and environmental impact assessment as integral components of the geological and economic evaluation of deposits is substantiated. The prospects for the development of the mineral resource base of the Western region of Ukraine are substantiated based on the principles of sustainable nature management, rational use of resources, and integration of environmental standards into subsoil use processes. It is determined that the combination of favorable natural conditions, advantageous geographical location, and modern mining technologies creates the prerequisites for the efficient utilization of the region's resource potential, which is an important factor in economic stabilization and post-war recovery of the state.

Key words: mineral resource base of construction raw materials of the Western region of Ukraine, geological and economic factors, environmental impact assessment.

Дата першого надходження статті до видання: 22.01.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 23.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026

УДК 553.632:550.8(477.8)

DOI <https://doi.org/10.30970/vgl.40.15>

ПІДЗЕМНА ДОРОВІДКА РОДОВИЩ КАЛІЙНИХ СОЛЕЙ ПЕРЕДКАРПАТСЬКОГО ПРОГИНУ ЗАХІДНОГО РЕГІОНУ УКРАЇНИ

Володимир Петришин <https://orcid.org/0009-0005-4380-5786>

*Державна комісія України по запасах корисних копалин,
вул. Генерала Алмазова, 18/7, Київ, Україна, 01133
Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005
e-mail: geology1982@ukr.net*

У межах Передкарпатського прогину західного регіону України попередньо розвідані понад 20 родовищ калійних солей, які характеризуються тектонічно порушеною геологічною будовою, у тому числі із проявами соляної тектоніки, специфічним та строкатим мінеральним складом руд, складними гірничо-геологічними та гідрогеологічними умовами. Тут понад 100 років експлуатувались Стебницьке та Калуш-Голинське родовища, розробка яких виявила низку специфічних характеристик, які обов'язково треба враховувати ще до початку видобутку, а саме на етапах проведення геолого-розвідувальних робіт та геолого-економічної оцінки. Особливості геологічної будови, мінерального складу, морфології рудних тіл сформованих у умовах потужного впливу геотектонічних процесів на залягання покладів, водорозчинність руд та вмісних порід, ризики активізації соляного карсту та інших небезпечних геологічних процесів, суттєво обмежують традиційні підходи до оцінки запасів родовищ калійних солей в межах Передкарпатського прогину, особливо їх достовірність у порівнянні із іншими – нерозчинними у воді видами мінеральної сировини.

У зв'язку із цим для їх геолого-економічної оцінки, дорозвідки та експлуатаційної розвідки, пропонується найбільш ефективні та достовірні підходи, з урахуванням мінімізації ризиків порушення гідрогеологічних умов, ініціювання водопритоків, активізації соляного карсту та інших небезпечних геологічних процесів. Суть пропонованого підходу для гідрогеологічно-безпечної дорозвідки та експлуатаційної розвідки калійних родовищ, полягає у проходженні розвідувальних стовбурів шахт, горизонтальних квершлагів, штреків, підземного буріння та опробування рудних тіл в межах виділених блоків, встановлення точної потужності покладів, мінерального та хімічного складу.

При негативному результаті геолого-економічної оцінки на яку будуть витрачені значні кошти, пов'язані насамперед із витратами на гірничо-прохідницькі та підземні бурові роботи, потенційний надкористувач може використати підземний простір геологічного середовища в якості ресурсу для спелеолікування.

Ключові слова: родовища калійних солей, Передкарпатський прогин, геологічна будова, мінеральний склад, геолого-економічна оцінка, дорозвідка, експлуатаційна розвідка, спелеолікування.

Вступ. Особливості геологічної будови, потужний вплив тектонічних процесів, у тому числі галокінезу (соляної тектоніки) на залягання покладів, складні гідрогеологічні умови, водорозчинність руд та вмісних порід, ризики активізації соляного карсту суттєво обмежують традиційні підходи до оцінки запасів родовищ калійних солей в межах

Передкарпатського прогину, особливо їх достовірність [1, 2, 3, 4, 6, 10, 12]. Саме тому досить часто важко забезпечити достовірну геологічну розвідку таких родовищ, не порушивши водотривкі поклади над соленосною товщею, а також майбутню водозахисну стелю водорозчинних відкладів та мінімізуючи втрати запасів, які будуть включені до складу водозахисних ціликів.

Щоб провести достовірну геологічну розвідку калійних родовищ і при цьому не порушити водотривкі поклади над соленосною товщею та власне водорозчинні калійні руди, традиційно застосовують поєднання малоруйнівних методів, спеціальних технологій буріння та суворого контролю гідрогеологічного режиму, із контролем стану геологічного середовища геофізичними методами (без порушення масиву): сейсмозрозвідкою (2D/3D) для визначення прогнозної геометрії соляних тіл та морфології перекриваючих шарів, електророзвідкою, яка добре виділяє соленосні масиви, особливо їх кривлю через високу електропровідність високомінералізованих вод соляного дзеркала та ін. Це дозволяє мінімізувати кількість свердловин і не порушувати водотривкі горизонти без потреби, раціонально розміщувати свердловини в межах ділянок надр, бурити тільки оптимально необхідну кількість свердловин, уникати їх закладення у зонах тектонічних порушень, тріщинуватості, підвищеної водоносності.

На практиці досить важко дотриматись усіх цих застережень, а іноді – практично неможливо. Як наслідок, після початку розробки таких розвіданих родовищ, у копальнях з часом з'являються водопритоки, у тому числі катастрофічні, як унеможливають подальшу експлуатацію, аж до аварійного стану та затоплення і таких прикладів у світі є чимало, у тому числі і в Україні. Дуже ймовірно, що першопричиною водопритоків у копальні Стебницького родовища, були зумовлені саме через невдало пробурені розвідувальні свердловини і такі проблеми можуть мати місце на інших розвіданих родовищах, які не експлуатуються.

Постановка проблеми. Специфічна геологічна будова, тектонічна порушеність, складні гідрогеологічні умови, особливості мінерального складу калійних руд, різна розчинність соляних мінералів, ризики активізації соляного карсту, водопритоків та виведення з ладу із втратою запасів родовищ калійних руд Передкарпатського прогину, потребують впровадження радикально нових підходів на етапах розвідки, дорозвідки та геолого-економічної оцінки. Усі ці проблеми, комплексно розглянуті у даній роботі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Даній проблемі присвячена низка публікацій П.М. Білоніжки, В.О. Ващенко, Л.С. Герасімова, В.І. Кітика, В.І. Ловинюкова, О.П. Міщенко, Д.П. Хрушова, [1-4, 7, 8, 10, 14]. У цих роботах розглянуті особливості мінерального складу, екологічні та геохімічні наслідки експлуатації калійних родовищ. У працях В.О. Дяківа, А.А. Іванова, Г.І. Рудька та Методичних рекомендаціях ДКЗ України розглянуті питання геолого-економічної оцінки та методів розвідки родовищ калійних солей [5, 6, 9, 11, 12, 13].

У той же час нами не зустрінуті публікації, де висвітлено комплексні підходи до питання достовірної дорозвідки родовищ калійних руд Передкарпатського прогину.

Мета статті – Аналіз методів розвідки та геолого-економічної родовищ калійних солей в межах Передкарпатського прогину для виявлення найбільш ефективних та достовірних підходів, з урахуванням мінімізації ризиків порушення гідрогеологічних умов, ініціювання водопритоків, активізації соляного карсту.

Методика досліджень – вивчення особливостей мінерального складу калійних руд, залягання рудних тіл, гідрогеологічних умов, ретроспективний аналіз методів та результатів розвідки родовищ калійних солей, їх геолого-економічної оцінки.

Виклад основного матеріалу. У межах Передкарпатського прогину, що простягається по території України смугою довжиною 230 км і шириною

25-60 км понад 20 родовищ калійних солей, з яких найбільшими є Стебницьке та Калуш-Голинське (група Калуш-Голинських родовищ: Сивка-Калуське, Домбровське, Пійло, Голинське) (рис. 1).

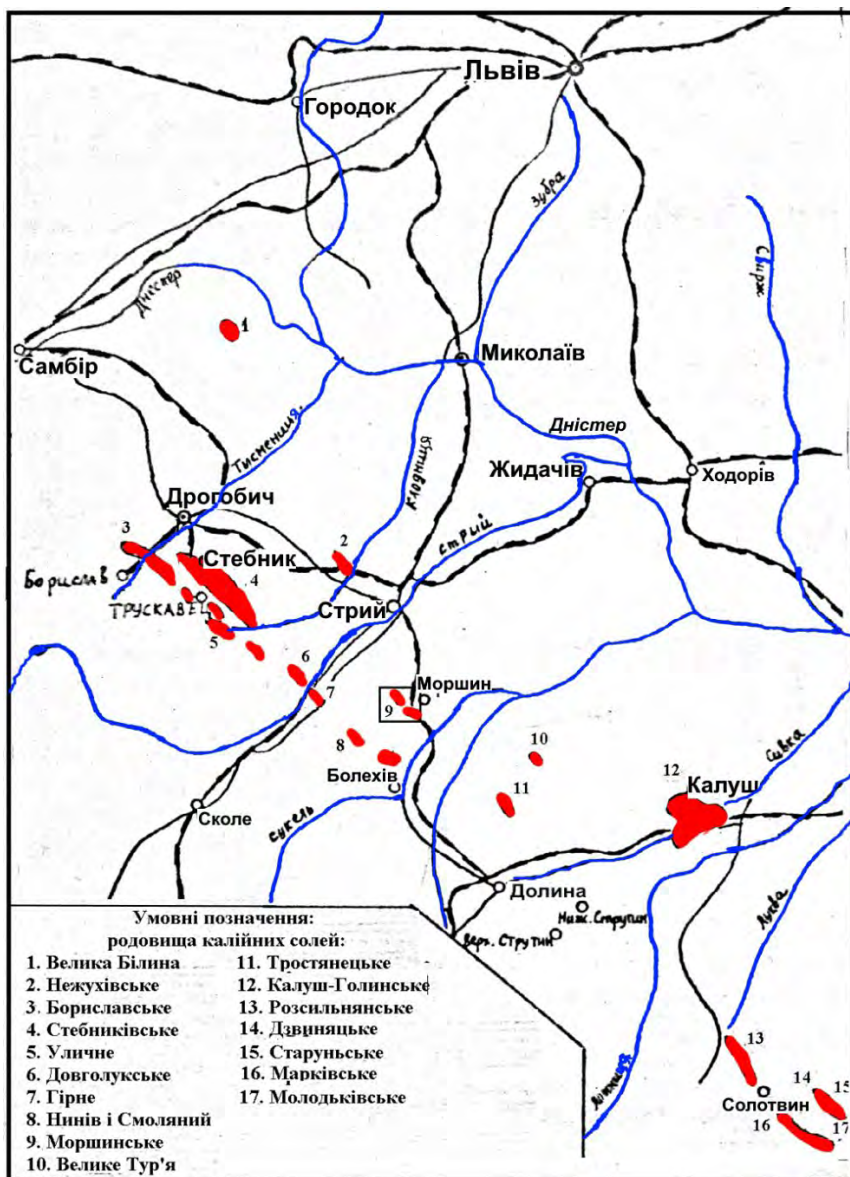


Рис. 1. Просторова локалізація родовищ калійних солей, розвіданих в межах Передкарпатського прогину: 1 – Велико-Білинське, 2 – Нежухівське, 3 – Бориславське, 4 – Стебницьке, 5 – Уличинське, 6 – Довголуцьке, 7 – Гірне, 8 – Нинів-Смолянське, 9 – Моршинське, 10 – Велика Тур'я, 11 – Тростянецьке, 12 – Калуш-Голинська група родовищ (Домброво, Кадобна, Пійло), 13 – Розсільнянське, 14 – Дзвиняцьке, 15 – Старунське, 16 – Марківське, 17 – Молодьківське

Згідно з додатком № 3 постанови КМУ від 14.07.2025 № 845 затверджено перелік ділянок надр (родовищ корисних копалин) стратегічного та (або) критичного значення, що надаватимуться у користування шляхом проведення аукціону (електронних торгів) з продажу спеціального дозволу на користування надрами: Пійло, Кадобна, Тростянецьке, Тура Велика, Бориславське, Гірне, Доброгостівське, Довголука, Моршинське, Нинів і Смоляний, Помярки, Улично [10].

Родовища кам'яної і калійних солей та природних розсолів утворюють Передкарпатський соленосний басейн, який займає територію Бориславсько-Покутської і Самбірської зон однойменного прогину.

Особливості мінерального складу родовищ калійних солей Передкарпатсько-го прогину. Родовища калійних солей басейну є унікальними за мінеральним складом. Вони представлені, в основному, полімінеральними (хлористо-сульфатними) калійно-магнієвими солями переважно каїніт-лангбейнітового складу, досить часто породотворюючими є також полігаліт, кізерит, сильвін. Калійні руди родовищ Передкарпаття характеризуються багатоманітністю і непостійністю мінерального складу, до якого входить понад 20 хлоридних, сульфатних і хлоридно-сульфатних мінералів.

За хімічним складом поклади ралійних руд Передкарпатського прогину відносяться до солей сульфатного типу. Вони характеризуються дуже складним і своєрідним комплексом соляних мінералів і винятково великим вмістом глинистого матеріалу (10-15%, іноді до 25%). Головними породами калійних солей є каїнітова, лангбейнітова, каїніт-лангбейнітова і полімінеральна. У них найбільше поширені каїніт – $KMg[Cl, SO_4] \cdot 3H_2O$ лангбейніт – $K_2Mg_2(SO_4)_3$, в меншій мірі полігаліт – $K_2MgCa_2[SO_4]_4 \cdot 2H_2O$, кізерит – $MgSO_4 \cdot H_2O$, сильвін, карналіт – $KMgCl_3 \cdot 6H_2O$, шеніт – $K_2Mg[SO_4]_2 \cdot 6H_2O$, леоніт – $K_2Mg[SO_4] \cdot 4H_2O$, астраханіт $Na_2Mg[SO_4]_2 \cdot 4H_2O$, ангідрит, рідко трапляються вантгофіт – $Na_6Mg[SO_4]_4$, левейт $Na_2Mg[SO_4]_2 \cdot 2,5H_2O$. Невід'ємною складовою частиною є галіт. У зонах гіпергенезу соляних відкладів утворюються гіпс, калушит (сингеніт) $K_2Ca[SO_4]_2 \cdot H_2O$, мірабіліт та ін.

Важливу роль у складі калійних порід відіграє глинистий і алевритопіщаний теригенний матеріал, який також треба зачислити до основних породотворних компонентів і який часто описується під загальним терміном «нерозчинний залишок». З мінералогічної точки зору, в «нерозчинному залишку» домінують кварц, хлорит та гідрослюда, з підпорядкованим значенням польового шпату, кальциту і доломіту.

Відмінною рисою руд Прикарпаття, порівняно з аналогічними закордонними родовищами (Румунія), є строкатість мінералогічного складу (навіть у межах однієї ділянки видобутку) і надзвичайно високий вміст глинисто-мулисто-піскової фракції, тобто нерозчиненого залишку, що досягає 20% і вище.

Ці мінерали формують найбільш поширені і каїніто-лангбейнітові руди, вміст каїніту у яких коливається від 12 до 25%, лангбейніту від 10 до 20%, галіту – від 30 до 40%, нерозчинного залишку (глинисто-мулисто-піщаного компоненту) від 10 до 30%, що у вигляді тонких прошарків та крапель міститься також полігаліт від 4 до 10%, а також лангбейніт-каїнітові (припереважанні каїніту), рідше переважно каїнітові та переважно лангбейнітові руди, а також, значно рідше каїніт-кізеритові, сильвінітові руди [1]. Крім Калуш-Голинського та Стебницького родовищ, добре розвіданими і перспективними для видобутку є Бориславське (каїніто-лангбейнітова руда), Марково-Розсильнянське (лангбейніто-каїнітова руда), Нежуховське (каїніто-кізеритова руда) і Тростянецьке (лангбейнітова руда). Середній мінералогічний склад руди основних Прикарпатських родовищ наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Мінералогічний склад полімінеральних руд з родовищ Західного регіону України

Мінерал	Родовища					
	Калуш-Голинська група				Стебницьке	Бориславське
	Голинь	Сівка Калуська	Домброво	Пійло		
Каїніт	26,17	23,18	17,07	13,41	15,98	21,99
Лангбейніт	3,20	2,45	16,04	5,53	10,95	11,86
Сильвін	8,80	9,01	4,36	9,76	4,44	2,18
Полігаліт	4,40	4,86	7,24	5,67	6,33	10,82
Галіт	38,60	39,45	27,67	35,31	35,78	22,76
Шеніт	0,80	0,52	2,39	0,85	0,30	0,67
Леоніт	-	-	-	-	-	1,23
Кізерит	3,10	2,84	6,82	7,08	4,00	3,34
Епсоміт	0,20	0,02	0,42	-	3,50	1,36
Карналіт	1,59	0,76	0,17	0,43	0,20	0,07
Глазерит	-	-	0,21	-	-	0,42
Астраханіт	-	-	0,42	-	-	0,14
Тенардит	-	-	0,54	-	-	-
Мірабіліт	-	-	0,10	-	-	-
Ангідрит	1,20	1,73	0,34	2,14	-	0,87
Гіпс	0,02	-	0,09	-	-	0,02
Левеїт	-	-	-	-	-	0,02
Н.з. (глина, мул, пісок)	10,60	13,09	14,84	17,34	16,84	18,97

Найпоширенішим калійним та магнієвим мінералом полімінеральних руд Передкарпатського прогину є каїніт. Каїніт – перший калійний мінерал, виявлений у Прикарпатті. У 1868 р. О. Хінгенау (O.Hingenau) повідомив, що власне каїнітові порода в Калуші була відкрита Бенедиктом Маргулісом, який встановив, що каїніт у родовищі переважає над сильвіном. Каїнітова порода є найбільш поширеною серед калійних порід Прикарпаття, є досить однотипною, переважно дрібнозернистою і має сірувато-жовтий, голубувато-жовтий, рідше червонувато-жовтий кольори. До її складу входять здебільшого галіт і каїніт з незначною домішкою полігаліту (3-10 %) та глинисто-мулисто-піщаного матеріалу (6-25 %). У залежності від кількісного співвідношення основних компонентів галіту і каїніту виділяються дві основні групи каїнітових порід: власне каїнітові (вміст галіту 20-40 %, каїніту 35-60 %) і каїніт-галітова (вміст галіту 40-50 %, каїніту 20-35 %). Але макроструктурно ці дві породи за текстурними і структурними особливостями суттєво не відрізняються одна від одної.

Другим поширеним калійним мінералом є лангбейніт як продукт осадження залишкових згущених калійно-магнієвих високомінералізованих розчинів. Підвищення температури і тиску в період пізнього діагенезу також може сприяти утворенню лангбейніту з іншими нестабільними мінералами соляних покладів. Саме тому вміст лангбейніту у різних родовищах Передкарпатського прогину суттєво змінюється від менше 2,5 % до понад 24 %.

Особливості залягання рудних тіл. Рудні тіла калійних руд в межах детально розвіданих родовищ Передкарпатського прогину залягають у вигляді пластів, лінз, часто зім'яті у складки (рис. 2).

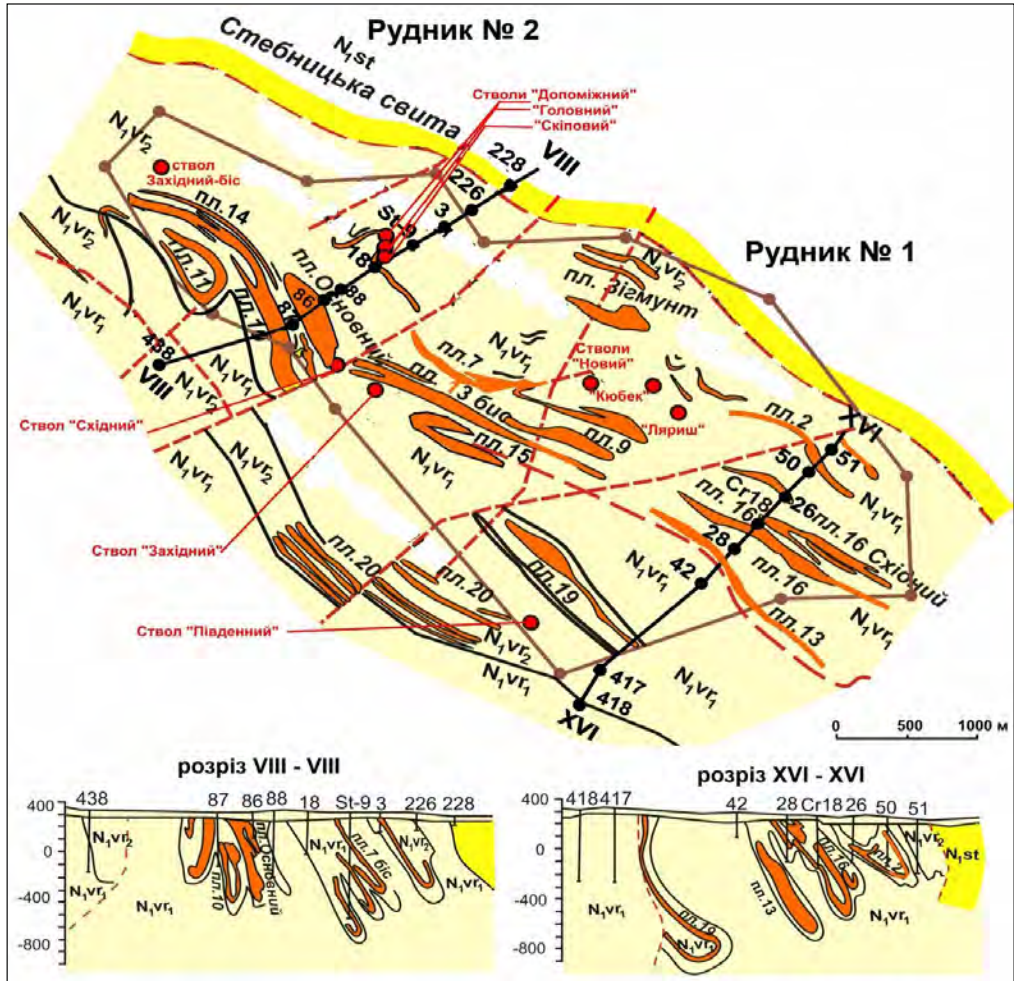


Рис. 2. Геологічна карта та розрізи Стебницького родовища калійних солей із просторовим розташуванням калійних пластів та стовбурів рудника № 1 (південно-східна частина) та рудника № 2 (північно-західна частина) – за даними Кудрявцев Ю.Е., 1985 (фондові матеріали)

Особливості гідрогеологічних умов. Усі попередньо розвідані Передкарпатського прогину характеризуються досить складними гідрогеологічними умовами пов'язаними із неоднорідностями літологічного складу – перешаруванням та різними типами контактів, найрізноманітнішими проявами тектонічної порушеності – від класичних розломів, зон брекчіювання та проявів соляної тектоніки, контактами із водонасиченими товщами, неоднорідністю водозахисної елювіальної товщі.

Головною умовою забезпечення безпечного підземного видобутку калійних родовищ є збереження повної водонепроникності порід водозахисної товщі гіпсово-глинистого капелюха, адже навколо кожної розвідувальної свердловини, яка «підрізала» продуктивний поклад, при проектуванні експлуатації – відробки камерним способом, передбачається охоронні цілики (рис. 3).

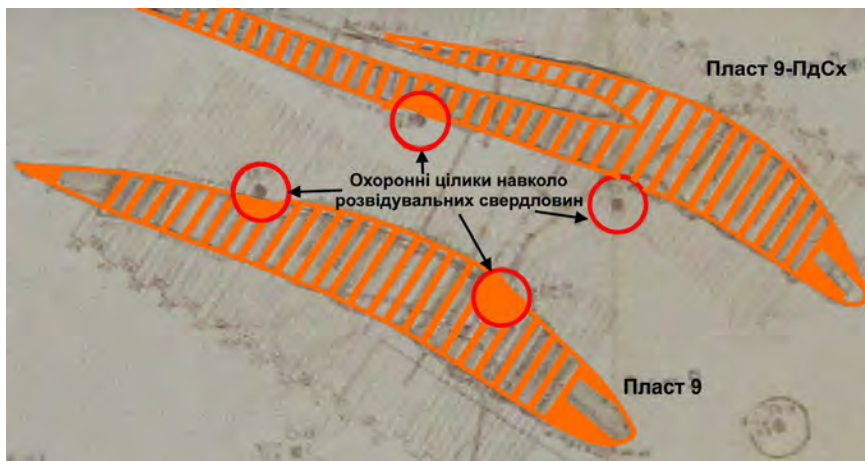


Рис. 3. Охоронні цілики, навколо кожної розвідувальної свердловини, які «підрізали» пласти № 9 та 9-ПдСх Стебницького родовища, в межах яких відробка запасів заборонена

Кожна пробурена з поверхні розвідувальна свердловина, створює ризик прущення водозахисного цілика потужністю 50-60 м у соляних породах. Оскільки порушення цілісності Стебницькому та Калуш-Голинському родовищах призвело до того, що підземні виробки стали ділянками розвантаження агресивних вод.

Найбільш складні гідрогеологічні умови, що можуть становити потенційну загрозу вдобуванню, притаманна для верхніх, приповерхневих горизонтів, де може мати місце гідравлічний зв'язок з карстовим водоносним горизонтом, а також із прісними водами зони активного водообміну, які в свою чергу можуть бути зв'язані з поверхневими водами річок, озер, боліт, із основним джерелом живлення від атмосферних опадів. В зв'язку з низькою мінералізацією, надсолеві води зони активного водообміну зазвичай є агресивними до соленосних відкладів.

Саме тому порушення водозахисної товщі при розвідувальних роботах для калійних родовищ є критично важливим та має бути мінімальним. Захист калійних покладів від потенційних водопритоків, враховуючи практику експлуатації Стебницького та Калуш-Голинського родовищ, повинен здійснюватися шляхом залишення водозахисних ціликів потужністю не менше 50-60 м.

Специфіка розвідувальних робіт та дорозвідки родовищ калійних солей Передкарпатського прогину. Безпечна розвідка соляного родовища базується на принципі: «Максимум інформації за мінімуму втручання в геологічне середовище».

Саме тому, детальна дорозвідка родовищ калійних солей Передкарпатського прогину, можлива лише підземним способом, при проходці гірничих виробок із розбурюванням пластів, без виходу стовбурів свердловин на поверхню. Саме так проводилась дорозвідка Стебницького та Калуш-Голинської групи родовищ, що дозволило суттєво приростити первинно-розвідані запаси та підвищити їхню достовірність.

Детально розвідати поклади калійних солей Передкарпатських родовищ способами, які зазвичай використовують для інших корисних копалин, практично неможливо через ризики збільшення ймовірності водопритоків і як наслідок активізації соляного карсту через кожну розвідувальну свердловину.

Розвідка родовищ калійних солей проводиться свердловинами колонкового буріння, зазвичай з обмеженим обсягом підземних гірничих виробок. Зрозуміло, що така

розріджена мережа розвідувальних свердловин, не дозволяє достовірно оцінити запаси, особливо враховуючи неоднорідність та строкатість мінерального складу покладів.

Крім розрідженої мережі розвідувальних свердловин, застосовувались способи герметизації, цементування, тампонування та надійної ліквідації розвідувальних свердловин, технології буріння з ізоляцією водоносних горизонтів зони активного водообміну та соляного дзеркала, в інтервалах яких облаштовується кондуктор, а в межах безводних (водотривких соленосних відкладів – технічна колона.

При цьому при бурінні використовувались спеціальні високомінералізовані бурові розчини – неагресивні до соляних порід, натомість категорично заборонялось буріння із застосуванням у якості основи бурового розчину прісної води, оскільки це може бути додатковим чинником активізації соляного карсту.

Такі прийняті заходи виключали розчинення солей при геолого-розвідувальних роботах, розущільнення покрівлі та мінімізації ризиків розвитку соляного карсту, а також дозволяють оцінити потужність калійних пластів та їх просторової локалізації в межах соляної товщі, якість калійних руд стан водотривких шарів.

У той же час ризик будівництва капітальних копалень створюю ризики погіршення гідрогеологічних умов при додаткових геолого-розвідувальних роботах з поверхні. Одним із можливих виходів із даної ситуації є проектування розвідувальних шахт, квершлагів, штреків, підземних свердловин при дорозвідці чи експлуатаційній розвідці попередньо виявлених рудних тіл (рис. 4).

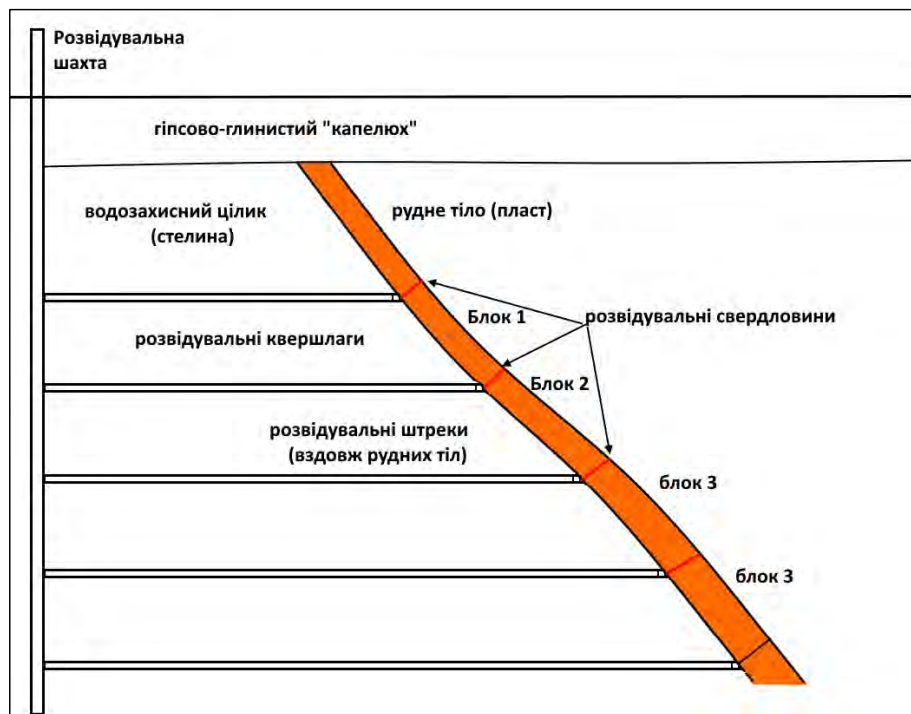


Рис. 4. Принципова схема пропонованого підходу до геолого-економічної оцінки, дорозвідки та експлуатаційної розвідки раніше розвіданих родовищ, із виділенням блоків для підрахунку з метою уточнення загальних, балансових та експлуатаційних запасів без порушення гідрогеологічних умов та ризиків активізації соляного карсту

Суть пропонованого підходу полягає у проходженні:

1) розвідувального стовбура розвідувальної копальні, мінімального січення, із належною гідроізоляцією, який при позитивних наслідках розвідувальних робіт, може стати вентиляційним;

2) розвідувальних горизонтальних квершлагів від шахтного стовбура до рудного тіла на різних проєктованих горизонтах;

3) розвідувальних штреків від локацій перетину квершлагами рудних тіл у протилежних напрямках вздовж їх простягання – це дозволяє прослідкувати особливості морфології по простягання, із виявленням порушень залягання, виклинювань, заміщень;

4) підземне буріння та опробування рудних тіл в межах виділених блоків, при цьому підземні бурові роботи можуть відбуватися як у висячому, так і лежачому боках рудних тіл, але в кожному випадку, треба встановити точну потужність покладу, його усереднений мінеральний та хімічний склад, а також вміст K_2O , MgO , $NaCl$ та нерозчинного залишку.

Підрахунок запасів калійних солей у блоках – це стандартний метод оцінки запасів для родовищ пластового або лінзоподібного типу Передкарпатського прогину. Суть методу полягає у розбитті однорідних ділянок пластів чи лінз на окремі геологічні блоки та виконати розрахунок запасів окремо для кожного з них.

У межах ділянок виділяють блоки за вибраною моделлю геологічної будови, сіткою пройдених гірничих виробок та пробурених розвідувальних свердловин, результатами опробування, якістю руди (вміст K_2O , MgO , $NaCl$, нерозчинний залишок), глибиною залягання, при цьому кожен блок вважається умовно-однорідним.

Для кожного блоку визначають:

1) площу – S ;

2) середню потужність – m ;

3) середній вміст – K_2O (у відсотках чи долях) – K ;

4) густину (об'ємну масу) – γ .

Запаси калійних солей визначаються за формулою: $Q=S \cdot m \cdot \gamma \cdot K$

де: Q – запаси руди (млн т) у блоці; S – площа блоку (m^2);

m – середня потужність пласта (м) у блоці; γ – об'ємна маса (t/m^3);

K – коефіцієнт якості (вміст корисного компонента, частка K_2O : при вмісті 12 % – частка становить 0,12).

На основі цих даних, а також планованого способу розробки – зазвичай камерного способу, розраховують:

1) загальні геологічні запаси (без урахування втрат);

2) балансові запаси (з урахуванням кондицій);

3) видобувні (експлуатаційні) запаси (з урахуванням втрат на залишені руди у між-камерних ціликах та розубоження).

Особливістю розвіданих калійних родовищ Передкарпатського прогину, є те, що для них може бути притаманний вкрай неоднорідний мінеральний склад, дуже складна морфологія рудних тіл, у тому числі їх виклинювання та заміщення на пусті породи, тектонічна порушеність, складні гідрогеологічні умови та низка інших геологічних особливостей, які варто виявити під час дорозвідки та експлуатаційної розвідки.

Позитивна та негативна геолого-економічна оцінка за результатами підземної дорозвідки. Природньо, що запропонований підхід є досить коштовним, і не жаль не завжди надрокористувач може отримати позитивний для себе результат: за позитивних результатів геолого-економічної оцінки, сприятливості гірничо-геологічних та гідрогеологічних умов, відсутності водопритоків, чи їх ефективного пригнічення, обмеженому поширенню тектонічних порушень, достатній кількості загально-геологічних, балансови

та експлуатаційних запасів, надрокористувач, отримавши усі необхідні дозвільні документи, насамперед протокол ДКЗ України, може проєктувати повноцінне видобування, збагачення та тримання готової продукції.

Але що робити надрокористувачу при негативних результатах геолого-економічної оцінки?

До прикладу коли гірничо-геологічні та гідрогеологічні умови досить складні, виявлені водопритоки, чий стан викликає занепокоєння та потребує застосування складних технічних рішень, щоб ефективно їх пригнічувати, поширені тектонічні порушення, а найважливіше – кількості розвіданих загально-геологічних, балансових та експлуатаційних запасів, чи їх якість (за рахунок малої потужності рудних тіл і їх значного розубожування, не дозволяє тривалий час проводити видобування чи ефективне збагачення, затративши при цьому значні інвестиції.

Негативний результат геолого-економічної оцінки у такому разі при значних витратах на гірничо-прохідницькі та підземні бурові роботи, частково чи навіть повністю може бути компенсований використанням надрокористувачем геологічного середовища в якості ресурсу для спелеолікування: пройдені розвідувальні шахтні стовбури, квершлагги, штреки, можуть бути використані як локації для лікування астми, алергії та інших хворіб при відповідному додатковому дослідженні, отриманні відповідного дозволу на користування надрами, проєктуванні та будівництві підземної спелеолікарні.

Висновки

За результатами проведених досліджень, можна зробити наступні висновки:

1. В межах Передкарпатського прогину, що простягається по території України смугою довжиною 230 км від Польщі до Румунії розвідано понад 20 родовищ калійних солей, особливістю яких є те, що для них може бути притаманний вкрай неоднорідний мінеральний склад, дуже складна морфологія рудних тіл, у тому числі їх виклинювання та заміщення на пусті породи, тектонічна порушеність, у тому числі прояви соляної тектоніки, складні гідрогеологічні умови із підвищеними ризиками водопритоків та низка інших геологічних особливостей.

2. Саме тому, детальна дорозвідка родовищ калійних солей Передкарпатського прогину, можлива лише підземним способом, при проходці гірничих виробок із розбурюванням пластів, без виходу стовбурів свердловин на поверхню. Саме так проводилась дорозвідка Стебницького та Калуш-Голинської групи родовищ, що дозволило суттєво приростити первинно-розвідані запаси та підвищити їхню достовірність.

3. Суть пропонованого підходу для гідрогеологічно безпечної дорозвідки та експлуатаційної розвідки калійних пополягає у проходженні:

а) розвідувального стовбура розвідувальної копальні, мінімального січення, із належною гідроізоляцією, який при позитивних наслідках розвідувальних робіт, може стати вентиляційним;

б) розвідувальних горизонтальних квершлагів від шахтного стовбура до рудного тіла на різних проєктованих горизонтах;

в) розвідувальних штреків від локацій перетину квершлагами рудних тіл у протилежних напрямках вздовж їх простягання – це дозволяє прослідкувати особливості морфології по простягання, із виявленням порушень залягання, виклинювань, заміщень;

г) підземне буріння та опробування рудних тіл в межах виділених блоків, при цьому підземні бурові роботи можуть відбуватися як у висячому, так і лежачому боках рудних тіл, але в кожному випадку, треба встановити точну потужність покладу, його усереднений мінеральний та хімічний склад, а також вміст K_2O , MgO , $NaCl$ та нерозчинного залишку.

4. В межах ділянок виділяють блоки за вибраною моделлю геологічної будови, сіткою пройдених гірничих виробок та пробурених розвідувальних свердловин, результатами опробування, якістю руди (вміст K_2O , MgO , $NaCl$, нерозчинний залишок), глибиною залягання, при цьому кожен блок вважається умовно-однорідним.

5. Негативний результат геолого-економічної оцінки у такому разі при значних витратах на гірничо-прохідницькі та підземні бурові роботи, частково чи навіть повністю може бути компенсований використанням надрокористувачем геологічного середовища в якості ресурсу для спелеолікування: пройдені розвідувальні шахтні стовбури, квершлаги, штреки, можуть бути використані як локації для лікування астми, алергії та інших хворіб при відповідному додатковому дослідженні, отриманні відповідного дозволу на користування надрами, проєктуванні та будівництві підземної спелеолікарні

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Білоніжка П. Стебницьке родовище калійних солей: розроблення, відходи збагачення руд, проблеми охорони довкілля / П. Білоніжка, В. Дяків. Праці наукового товариства ім. Шевченка. Т. XXX. Геологічний збірник. Львів., 2012. С. 199–209.
2. Ващенко В.О. та ін. Геологічна будова соленосної моласи Українського Передкарпаття (звіт по темі: «Довивчення соленосної моласи Передкарпатського прогину» за 1999–2001 рр.). Львів, 2001. Фонди ЛГРЕ.
3. Ващенко В.О. та ін. Геологічна будова і корисні копалини території аркуша М-35-XXV (Івано-Франківськ). Звіт з геологічного довивчення площі масштабу 1 : 200 000 за 1999–2005 рр. Львів, 2005. Фонди ЛГРЕ.
4. Герасімов Л.С. та ін. Державна геологічна карта України. Масштаб 1 : 200 000. Карпатська серія. Аркуші М-34-XXIII (Пшемисль), М-34-XXIV (Дгоробич). Пояснювальна записка. Київ, 2005. Фонди ЛГРЕ.
5. Дяків В.О. Геолого-економічна оцінка родовищ калійних солей Передкарпатського прогину: особливості мінерального складу, специфіка дорозвідки, проблеми видобування та збагачення, зміни підходу до класифікації/ В.О. Дяків, А.В. Панченко, В.Ю. Петришин, З.З. Хевпа. Матеріали Десятої міжнародної науково-практичної конференції: «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування» (6-10 жовтня 2025 р., м. Львів). Львів: 2025. С. 357–363. URL: https://conf.dkz.gov.ua/files/2025_materials_net.pdf
6. Іванов А.А. Галогенні формації (мінеральний склад, типи та умови утворення, методи пошуків та розвідки родовищ мінеральних солей) / А.А. Іванов, М.Л. Воронова. М.: Надра. 1972. 328 с.
7. Кітик В.І. Солоносні освіти України, пов'язані з ними корисні копалини та перспективи використання їх у народному господарстві / В.І. Кітик, О.І. Петреченко. Геологія та поліз, копалин. соленосних товщ. Київ: «Наукова думка». 1974. С. 5–14.
8. Ловинюков В.І. Стебницьке родовище – головний об'єкт видобутку калійних солей в Україні. / В.І. Ловинюков, І.П. Пижук. Галогенні формації України. Матеріали соленосних формацій України. Київ: Наук. думка, 1977. с. 14–22.
9. Методичні вказівки щодо застосування Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр до родовищ викопних солей. Затверджено наказом Державної комісії України по запасах корисних копалин від 3 березня 2016 № 74.
10. Міщенко О.П. та ін. Аналіз співставлення даних розвідки та розробки Калуського родовища калійних солей Івано-Франківської обл. Львів, 2006. Фонди ЛГРЕ.
11. Про затвердження переліків корисних копалин та компонентів стратегічного та критичного значення і переліків ділянок надр (родовищ корисних копалин) стратегічного та (або) критичного значення // Постанова Кабінету Міністрів України від 14 липня 2025 р. N 845. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/845-2025-%D0%BF#Text>

12. Рудько Г.І. Соляні ресурси Передкарпаття та перспективи їх використання / Г.І. Рудько, В.Ю.Петришин. Київ – Чернівці : Букрек, 2017. 472 с.
13. Семчук Я.М. Наукові та методичні основи охорони геологічного середовища в районах розробки калійних родовищ (на прикладі Передкарпаття). Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Івано-Франківський технічний ун-т нафти і газу. Івано-Франківськ, 1995. 46 с.
14. Хрущов Д.П. Літологія та геохімія галогенних формацій Передкарпатського прогину. Київ: Наук. думка, 1980. 312 с.

REFERENCES

1. Bilonizhka, P. (2012). Stebnyts'ke rodovyshche kaliynykh soley: rozroblennya, vidkhody zbahachennya rud, problemy okhorony dovkillya / P. Bilonizhka, V. Dyakiv. Pratsi naukovohto tovarystva im..Shevchenka. T. KHKHKH. Neolohichnyy zbirnyk L'viv., S. 199–209.
2. Vashchenko, V.O. ta in. (2001). Neolohichna budova solenosnoyi molasy Ukrayins'koho Peredkarpattya (zvit po temi: «Dovyvchennya solenosnoyi molasy Peredkarpats's'koho prohynu» za 1999–2001 rr.). L'viv, Fondy LHRE.
3. Vashchenko, V.O. ta in. (2005). Neolohichna budova i korysni kopalyny terytoriyi arkusha M-35-XXV (Ivano-Frankivs'k). Zvit z heolohichnoho dovyvchennya ploshchi masshtabu 1 : 200 000 za 1999–2005 rr. L'viv, Fondy LHRE.
4. Herasimov, L.S. ta in. (2005). Derzhavna heolohichna karta Ukrayiny. Masshtab 1 : 200 000. Karpat-s'ka seriya. Arkushi M-34-XXIII (Pshemysl'), M-34-XXIV (Dhorobych). Poyasnyval'na zapyska. Kyiv, Fondy LHRE.
5. Dyakiv, V.O. (2025). Heoloho-ekonomichna otsinka rodovyshch kaliynykh soley Peredkarpats's'koho prohynu: osoblyvosti mineral'noho skladu, spetsyfika dorozvidky, problemy vydobuvannya ta zbahachennya, zminy pidkhodu do klasyfikatsiyi/ V.O. Dyakiv, A.V. Panchenkr, V.YU. Petryshyn, Z.Z. Khevpа. Materialy Desyatoyi mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi: «Nadrokorystuvannya v Ukrayini. Perspektyvy investuvannya» (6-10 zhovtnya 2025 r., m. L'viv). L'viv: S. 357–363. Retrieved from: https://conf.dkz.gov.ua/files/2025_materials_net.pdf
6. Ivanov, A.A. (1972). Halohenni formatsiyi (mineral'nyy sklad, typy ta umovy utvorennya, metody poshukiv ta rozvidky rodovyshch mineral'nykh soley) / A.A. Ivanov, M.L. Voronova. M.: Nadra. 328 s.
7. Kityk, V.I. (1974). Solonosni osvity Ukrayiny, pov'yazani z nymy korysni kopalyny ta perspektyvy vykorystannya yikh u narodnomu hospodarstvi / V.I. Kityk, O.I. Petrechenko. Heolohiya ta poliz, kopalyn. solonosnykh tovshch. Kyiv: «Naukova dumka». S. 5–14.
8. Lovynyukov, V.I. (1977). Stebnyts'ke rodovyshche – holovnyy ob'yekt vydobutku kaliynykh soley v Ukrayini. / V.I. Lovynyukov, I.P. Pyzhuk. Halohenni formatsiyi Ukrayiny. Materialy solenosnykh formatsiyi Ukrayny. Kyev: Nauk. dumka, s. 14–22.
9. Metodichni vkazivky shchodo zastosuvannya Klasyfikatsiyi zapasiv i resursiv korysnykh kopalyn derzhavnogo fondu nadr do rodovyshch vykopnykh soley. Zatverdzheno nakazom Derzhavnoyi komisiyi Ukrayiny po zapasakh korysnykh kopalyn vid 3 bereznya 2016 № 74.
10. Mishchenko, O.P. ta in. (2006). Analiz spivstavlennya danykh rozvidky ta rozrobky Kalus'koho rodovyshcha kaliynykh soley Ivano-Frankivs'koyi obl. L'viv, Fondy LHRE.
11. Pro zatverdzhennya perelikiv korysnykh kopalyn ta komponentiv stratehichnoho ta krytychnoho znachennya i perelikiv dilyanak nadr (rodovyshch korysnykh kopalyn) stratehichnoho ta (abo) krytychnoho znachennya. Postanova Kabinetu Ministriv Ukrayiny vid 14 lypnya 2025 r. N 845. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/845-2025-%D0%BF#Text 13>.
12. Rud'ko, H.I. (2017). Solyani resursy Peredkarpattya ta perspektyvy yikh vykorystannya / H.I. Rud'ko, V.YU.Petryshyn // Kyiv – Chernivtsi : Bukrek, 472 s.

13. Semchuk, YA.M. (1995). Naukovi ta metodychni osnovy okhorony heolohichnoho seredovyscha v rayonakh rozrobky kaliynykh rodovysch (na prykladi Peredkarpattya). Avtoref. dys. ... d-ra tekhn. nauk. Ivano-Frankivs'kyi tekhnichnyi un-t nafty i hazu. – Ivano-Frankivs'k, 46 s.
14. Khrushchov, D. P. (1980). Litolohiya ta heokhimiya halohennykh formatsiy Peredkarpat's'koho prohynu. Kyiv: Nauk. dumka, 312 s.

UNDERGROUND EXPLORATION OF POTASSIUM SALT DEPOSITS OF THE PRECARPATHIAN TREADMILL OF THE WESTERN REGION OF UKRAINE

Volodymyr Petryshyn

*State Commission of Ukraine on Mineral Resources, 18/7, Henerala Almazova Str.,
Kyiv, Ukraine, 01133*

*Ivan Franko National University of Lviv, 4, Hrushevskoho Str., Lviv, Ukraine, 79005
e-mail: geology1982@ukr.net*

Within the Precarpathian depression of the western region of Ukraine, more than 20 deposits of potash salts have been previously explored, which are characterized by a tectonically disturbed geological structure, including manifestations of salt tectonics, a specific and variegated mineral composition of ores, and complex mining, geological, and hydrogeological conditions. The Stebnytske and Kalush-Holynske deposits have been exploited here for more than 100 years, the development of which revealed a number of specific characteristics that must be taken into account before the start of mining, namely at the stages of geological exploration and geological and economic assessment.

The peculiarities of the geological structure, mineral composition, morphology of ore bodies formed under conditions of strong influence of geotectonic processes on the occurrence of deposits, water solubility of ores and host rocks, risks of activation of salt karst and other dangerous geological processes, significantly limit traditional approaches to the assessment of reserves of potassium salt deposits within the Precarpathian depression, especially their reliability in comparison with other – insoluble in water types of mineral raw materials.

In this regard, for their geological and economic assessment, additional exploration and operational exploration, the most effective and reliable approaches are proposed, taking into account the minimization of risks of disruption of hydrogeological conditions, initiation of water inflows, activation of salt karst and other dangerous geological processes. The essence of the proposed approach for hydrogeologically safe additional exploration and operational exploration of potash deposits is the passage of exploration shafts of mines, horizontal cross-cuts, drifts, underground drilling and testing of ore bodies within the allocated blocks, establishing the exact thickness of deposits, mineral and chemical composition.

In the event of a negative result of the geological and economic assessment, which will require significant costs, primarily related to the costs of mining and tunneling and underground drilling, the potential subsoil user can use the underground space of the geological environment as a resource for speleotherapy.

Key words: potassium salt deposits, Precarpathian depression, geological structure, mineral composition, geological and economic assessment, additional exploration, operational exploration, speleotherapy.

Дата першого надходження статті до видання: 16.01.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 23.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026

УДК 551.21:551.24(477.83)
DOI <https://doi.org/10.30970/vgl.40.16>

ГЕОЛОГІЧНИЙ ФЕНОМЕН ПРОЯВУ ГРЯЗЕВОГО ВУЛКАНІЗМУ 26–27 КВІТНЯ 2023 Р. У С. РОЗВАДІВ СТРИЙСЬКОГО РАЙОНУ ЛЬВІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Василь Дяків¹, <https://orcid.org/0000-0001-8045-4595>
Назар Борис¹, <https://orcid.org/0009-0009-2722-8594>
Василь Павлюк², <https://orcid.org/0000-0001-6438-4603>
Михайло Яремович³, <https://orcid.org/0009-0003-2163-9639>

¹ Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. М. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005
e-mail: dyakivw@yahoo.com; nazarolegovic526@gmail.com

² ЛКП «Львівводоканал», вул. Зелена, 64, Львів, Україна, 79017
e-mail: zenonzxv@gmail.com

³ ТзОВ НТВП «Геологічні технології», вул. Нечуя-Левицького, 2, Львів,
Україна, 79005
e-mail: mishayaremovich@gmail.com

Проведено аналіз одноразового прояву грязьового вулканізму в ніч з 26 на 27 квітня 2023 р. у прибережній до р.Дністер частині села Розвадів Стрийського району Львівської області. Усі прояви були задокументовані місцевими мешканцями у вигляді загальнодоступних фото- та відеоматеріалів. Локалізація досліджуваної території поруч із газоносними площами та зонами розломів дало нам підстави назвати спостережувані явища проявом грязьового (осадового) вулканізму, що являє собою один з найцікавіших геологічних феноменів, а що має важливе значення для розуміння геотектонічної позиції даної території, пошуку родовищ вуглеводнів, сейсмічності, потенційних геологічних небезпек та екологічних наслідків пов'язаних із викидами парникових газів.

Характерною особливістю описаного геологічного феномену є проходження тут чіткої геотектонічної межі між Більче-Волицькою зоною Передкарпатського прогину та Східно-Європейською платформою, тектонічна порушеність, підвищена загазованість ґрунтового масиву, де спостерігався Розвадівський геологічний феномен – перший на Львівщині прояв грязьового вулканізму насамперед зумовлений вищезазначеними особливостями геотектонічної позиції та геологічної будови. Геологічними проявами грязьового вулканізму у с. Розвадів в ніч з 26 на 27 квітня 2023 року були: 1) раптові викиди газу у вигляді грифонів на лівому березі р. Дністер на відстані від кількох десятків до кількох сотень метрів від русла річки; 2) ефекти ерліфту у перший від поверхні четвертинний водоносний горизонт, що проявився «закипанням» води у колодязях та підняття рівня у них вище денної поверхні, аж до самовиливу; фонтанування насиченого газом та завислими глинистими частинками води (пульпи) на висоту 5-7 метрів; 4) одноразове утворення множинних вибухово-розмивних кальдер різних розмірів від 1 на 1 м і глибиною 2-3 м до 2 на 5 м і глибиною 3-4 м із заповненням їх водою; 5) залишкова дегазація ґрунтового масиву, який ще певний час продовжувалась дегазовуватись із виділенням газу із відчутним запахом сірководню.

Описаний прояв грязьового вулканізму вже спричинив негативні наслідки та потенційно може повторитись. Обґрунтовано ймовірні природні та техногенні чинники активізації грязьового



вулканізму. Для з'ясування точних причин необхідні детальні дослідження цього геологічного феномену з метою забезпечення екологічної безпеки.

Ключові слова: грязьовий вулканізм, грифони, кратери, ефект ерліфту, геологічне середовище, Східно-Європейська платформа, Передкарпатський прогин, Більче-Волицька зона, глибинний розлом, газові родовища, пошукове буріння.

Вступ. В ніч з 26 на 27 квітня 2023 року у селі Розвадів Стрийського району Львівської області спостерігавсь досить рідкісний геологічний феномен грязьового вулканізму: інтенсивні газові грифони, фонтанування пульпи, утворення вирв, втрата несучої здатності ґрунтових масивів, тріщини у фундаментах та стінах житлових будинків, заливання прилеглих територій брудом, погіршення якості води у колодязях. Усе це було задокументоване місцевими мешканцями на фото- та відеоматеріалами. Локалізація цієї території поруч із газоносними площами та зонами розломів дало нам підстави назвати спостережувані явища проявом грязьового (осадового) вулканізму, що являє собою один з найцікавіших геологічних феноменів, що має важливе значення для розуміння геотектонічної позиції даної території, пошуку родовищ вуглеводнів, сейсмічності, потенційних геологічних небезпек та екологічних наслідків пов'язаних із викидами парникових газів.

Слід зазначити, що загальна кількість проявів грязьового вулканізму на нашій планеті, досі невідома, і вважається що є щонайменше понад 600 основних наземних геологічних структур, де задокументовано цей феномен та кілька тисяч проявів у морях та океанах. Загалом вважається, що грязьовий (осадовий) вулканізм широко поширені по всій земній кулі, але особливо на ділянках активних тектонічних рухів, у компресійних зонах акреційних комплексів, насувах та насувних поясах, зонах зчленування різних геологічних структур, осадових, а особливо нафтогазоносних басейнах, вздовж осьових ділянок антиклиналей, особливо тектонічно порушених, зсувів та звичайних розломів на ділянках, які представляють собою специфічну категорію напірного виходу на поверхню природного газу або нафти, часто гідравлічно пов'язані з їх пастками у надрах та активізованими буровими чи гірничо-видобувними роботами.

Постановка проблеми. Основною проблемою спостережуваного геологічного феномену в ніч з 26 на 27 квітня 2023 року у селі Розвадів Стрийського району Львівської області було те, що на відстані 900 м бурилась пошукова свердловина на газ буровою компанією «Горизонти» та її субпідрядником компанією «ПроектБуд», і це вважалось основною причиною задокументованих подій. Як результат, усі явища, які спостерігались, інтерпретувались як наслідки техногенної аварії при буріння вищезазначеної свердловини. Незрозумілим було, чому прояви газових грифонів, фонтанування пульпи, утворення провалів біля шести будинків і домогосподарств та свідчення про запах газу, ймовірно сірководню, відбувались аж за 900 м від місця буріння. При цьому усі ці події відбувались на ділянці зчленування Східно-Європейської платформи та Більче-Волицької зони Передкарпатського прогину. Усе це дало підстави попередньо нам описати цей геологічний феномен як грязьовий вулканізм [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналізу поширеності грязьовому вулканізму у світі, з моменту публікації перших оглядових статей на початку 2000-х років було отримано велику кількість нових геологічних, геофізичних та геохімічних даних, які прояснили неоднозначні концепції та значно покращили раніше сформовані стереотипи про цей геологічний феномен, які узагальнені у роботі А. Маззіні та Дж. Етіопе [2, 7]. Саме дана робота дала нам підстави стверджувати, що описані наслідки, що спостерігались у селі розвадів 26-27 квітня 2026 року є проявом грязьового вулканізму [1].

Мета статті – Аналіз геологічної будови, геотектонічної позиції, змін гідрогеологічних умов, ймовірної закарстованості та стану гірничого масиву у ділянки у селі

Розвадів Стрийського району Львівської області, де 26-27 квітня 2023 року спостерігались прояви газових грифонів, фонтанування пульпи, утворення вирв та провалів біля шести будинків і домогосподарств із обґрунтуванням причин геологічного феномену грязьового вулканізму.

Методика досліджень – аналіз задокументованих і поширених фото- та відеоматеріалів із проявами газових грифонів, фонтанування пульпи, утворенням провалів, пошкодження будівель, що спостерігались в ніч з 26 на 27 квітня 2023 року мешканцями села Розвадів Стрийського району Львівської області [3-6], опрацювання фондових геологічних матеріалів, польові геологічні та гідрогеологічні спостереження, інтерпретація отриманих результатів.

Виклад основного матеріалу. Однією із резонансних подій 2023 року було те, що в ніч з 26 на 27 квітня того року, мешканці села Розвадів Стрийського району Львівської області, що проживають біля р. Дністер по вул. Шухевича та Хмельницького пробудились від звуків подібних на вибухи чи звуки від феєрверків, поруч з їхніми будинками утворились великі вирви, їхні городи та подвір'я були залиті глинисто-піщаною пульпою (рис. 1).

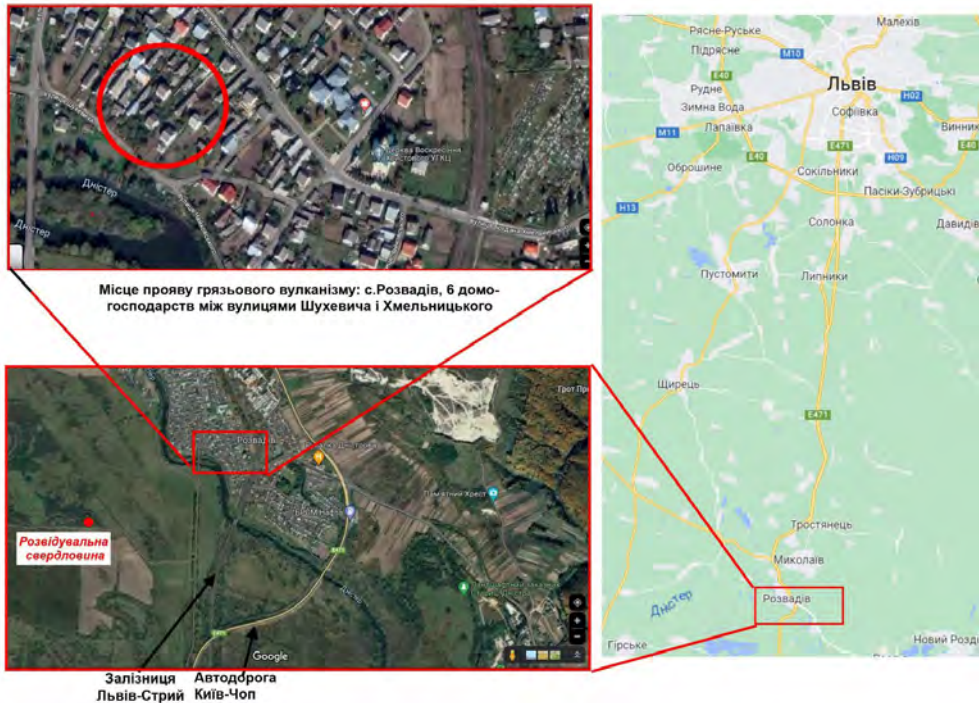


Рис. 1. Просторова локалізація місця прояву грязьового вулканізму у с. Розвадів Стрийського району Львівської області

За інформацією деяких жителів «уся річка Дністер бурлила» та «в 23.00 почала підійматися земля». Раптовий викид газів у вигляді чисельних грифонів на лівому березі р. Дністер на відстані від кількох десятків до кількох сотень метрів від русла річки, у перший від поверхні четвертинний водоносний горизонт спостерігали десятки мешканців: у криницях «кипіла» вода, а з під землі виривались фонтани глинистої пульпи та утворювались різні за розмірами провали, навколо яких розливалась вода з намулом.

Фонтанування насиченої газом води відбувалось на висоту 5-7 метрів, із викидом у повітря пульпи та утворення низки невеликих кальдер розмірами від 1 на 1 м і глибиною 2-3 м до 2 на 5 м і глибиною 3-4 м із заповненням їх водою, що ще певний час продовжувалась дегазовуватись із виділенням газу.

Мешканці Розвадова біля фонтанів і провалів відчували запах газу – сірководню. За повідомленням деяких жителів, «в них усі кури всі поздыхали, бо потрапилися від газу». При цьому слід зазначити, що природний горючий газ переважно не має запаху. Це не виключає глибинного походження, але може бути аргументом на користь приповерхневого походження газу, що виділявся 26-27 квітня 2023 року.

За усталеним визначенням під грязьовим вулканізмом розуміють процеси виверження грязьових вулканів або сальз, (англ. mud volcano, air volcano, macaluba, нім. Schlammvulkan, Salse) – геологічних утворень над тріщинами в осадових відкладах, що вміщують поклади газу під високим тиском, із постійним або періодичним виверженням грязьових мас та горючих газів. В той же час А. Маззіні та Дж. Етіопе [2] у своєму огляді за 2017 рік, подають таке визначення: під грязьовими вулканами розуміють поверхневі прояви сфокусованого потоку флюїдів (води, нафти, газів, грязі (mud)) по гідравлічно пов'язаним каналам від вуглеводневомісних покладів до денної поверхні, які можуть мати або не мати комерційного (промислового) значення. Грязьовий вулканізм (mud volcanism, рис. 2) – це поверхневе вираження підповерхневих (підземних) процесів, що характеризуються переміщенням великих мас осадових відкладень і рідин, які разом позначаються як «осадовий вулканізм». Підповерхневі (підземні) процеси, які можуть або не можуть призвести до грязьового вулканізму, узагальнено називаються «конструкціями проколу», які включають діапіри, діатреми, куполи, дренажні труби, грязьові інтрузії, грязьові насипи, димові тубуси і тому подібні локації розвантаження газів та флюїдів на поверхню.

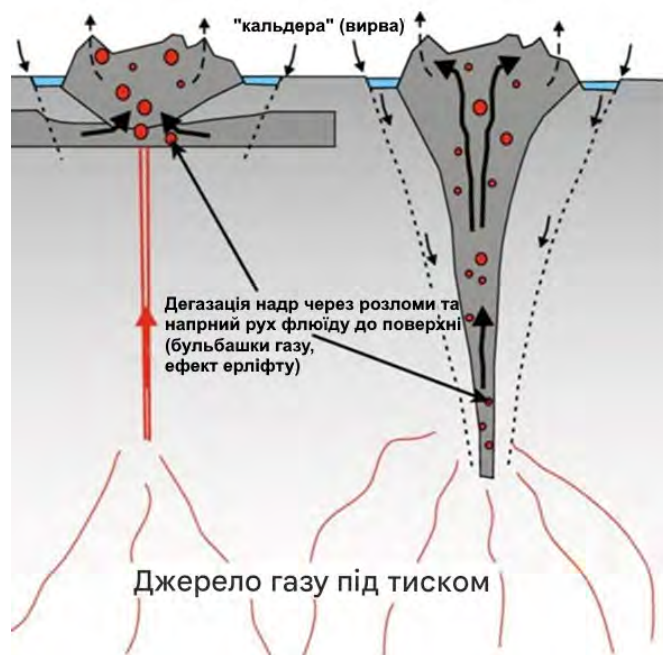


Рис. 2. Моделі формування грязьових вулканів із кальдерою (вирвою) при дегазації надр на ділянках поширення розгерметизованих вуглеводневих покладів

«Грязьовий вулкан» часто розглядається як описовий термін, що вказує на поверхневий викид грязі, води та газу, незалежно від геологічних процесів і умов, які керують і контролюють прояв рідини. У результаті цей термін часто неправильно застосовувався до вулканічних (магматичних) або геотермальних і неосадових умов, що призводило до ненавмисної розбіжності в послідовних наукових дискусіях.

При цьому в обидвох визначення ні про періодичність, ні про постійність у цьому визначенні не йдеться, хоча є неправильне тлумачення у дискусіях інших випадків які не належать до грязьового вулканізму, бо не приурочені до покладів вуглеводнів, а до геотермальних і власне вулканічних явищ, і за цими визначеннями. Виходячи з цього, Розвадівський геологічний феномен – повністю відповідає визначенню грязьового вулканізму.

Грязьовий вулканізм є досить поширеним природним геологічним явищем на нашій планеті, насамперед у нафто-газовидобувних регіонах та територях із підвищеною вулканічною і сейсмічною активністю, яке зафіксована в багатьох країнах світу (США, Канада, Мексика, Панама, Венесуела, Колумбія, Еквадор, Перу, Нігерія, Намібія, Італія, Албанія, Румунія, Грузія, Азербайджан, Туркменістан, Індія, М'янма, Японія, Китай, Іран, Індонезія, Філіппіни, Папуа Нова Гвінея, Нова Зеландія та ін.), у тому числі і в Україні – найбільш яскраво виражені прояви на Керченському півострові у Криму, а також в межах Передкарпаття, поблизу с. Старуня в Івано-Франківській області.

За геоструктурними особливостями досліджувана територія є тектонічною зоною, де спостерігається зчленування Прикарпатського крайового прогину з Східно-Європейської платформою, на що вказують особливості геологічної будови виявлені як на державній геологічній карті масштабу 1:200000 та і більш крупномасштабному геологічному картуванні (рис. 3).

Враховуючи структурні і фаціальні особливості платформенної частини і Зовнішньої зони Передкарпатського крайового прогину, границю між ними проводять по різкому зануренню верхньокрейдяних порід, залягаючих на них нижньобаденських відкладів і хомогенних осадків тираської світи, а також по різному співвідношенню потужностей глинистих відкладів верхнього баденію і нижнього сармату, що підтверджується геологічною будовою.

Ця границя проходить з північного заходу на південний схід, потім різко повертає на схід і прослідковується вздовж лівого берегу р. Дністер. На південний захід від вказаної границі, гіпсометрично значно нижче, під четвертинними відкладами викриваються нижньосарматські і верхньобаденські глинисті відклади, в той час, як хомогенні осадки тираської світи, більш древні нижньобаденські і верхньокрейдяні породи знаходяться на значних глибинах. Така різка нерівномірність в глибинах залягання одних і тих самих стратиграфічних одиниць на коротких відстанях і поява в розрізі нижньосарматських відкладів на захід від тектонічної лінії дає можливість провести чітку тектонічну границю між Східно-Європейської платформою і Зовнішньою зоною Передкарпатського крайового прогину саме на досліджувані ділянці грязьового вулканізму у с. Розвадів (рис. 3).

Поряд з диз'юнктивними формами порушень в межах крайової частини платформи спостерігаються пліквативні флексуроподібні форми занурення. Зокрема, таке явище спостерігається на південний схід від досліджуваного району. Вздовж цієї лінії відзначається досить швидке занурення літотамнієвих вапняків і органогенно-уламкових пісків Нараївського горизонту під верхньобаденські глинисті відклади, які на південний схід від цієї лінії перетинаються свердловинами під відкладами верхнього баденію. В зоні флексуроподібного занурення породи Нараївського горизонту зберегли на собі сліди тектонічної діяльності: вони розбиті крупними тектонічними вертикальними або круто падаючими тріщинами, в результаті чого первинне горизонтальне залягання їх порушене і вони падають найчастіше у південно-східному напрямку під ще більшим кутом до 40 градусів.

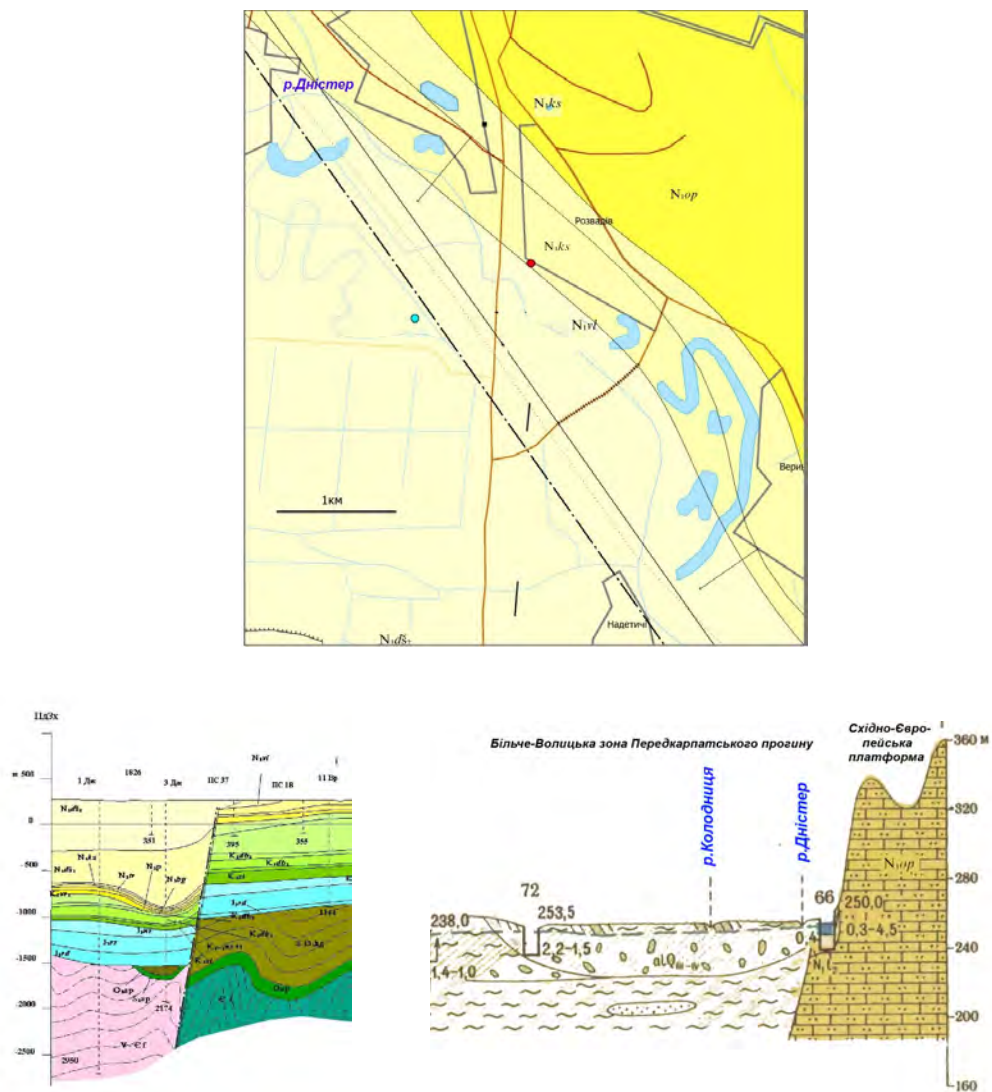


Рис. 3. Державна геологічна карта масштабу 1:200000 в околицях с. Розвадів та різномасштабні розрізи у напрямку Південний Захід – Північний Схід на межі Більче-Волицької зони Передкарпатського прогину та Східно-Європейської платформи

Зовнішня зона Передкарпатського крайового прогину поділяється на слабо і глибоко занурені частини. Границя між цими частинами тектонічна. Це тектонічне порушення простягається вздовж південно-західного краю Східно-Європейської платформи та добре встановлюється по різкому збільшенню потужності сарматських відкладів (до 1000 м і більше) і по глибокому зануренню верхньокрейдяних порід та залягаючих на них відкладів нижнього і верхнього баденію, в тому числі і хемогенних осадків тираської світи. При цьому амплітуда скиду перевищує 500 м, площина скиду має південно-західного падіння з кутом падіння (судячи з тріщинуватості) від 450 до 900.

Таким чином, на цій порівняно невеликій площі відбувалися інтенсивні тектонічні рухи, особливо на захід та південь від с. Розвадів, яка розбита системою поперечних і поздовжніх скидів з різними амплітудами опускання, завдяки чому вона має складну блокову будову (рис. 4).

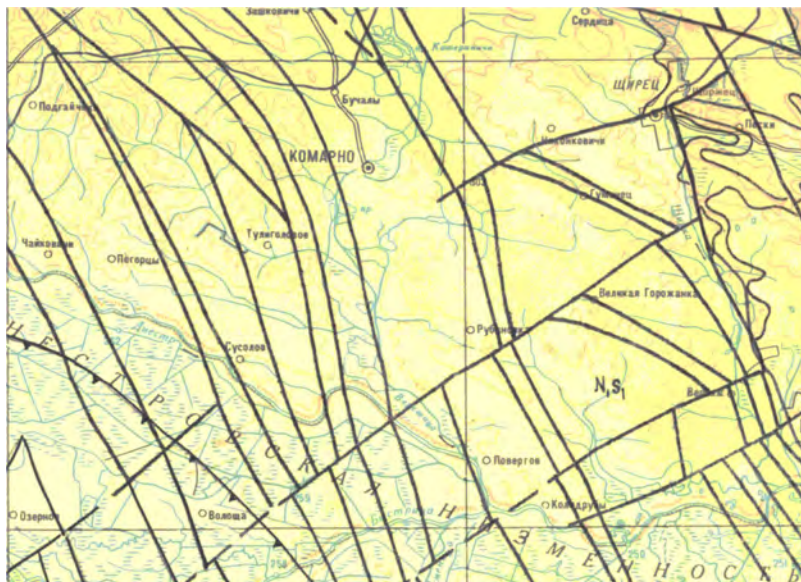


Рис. 4. Складна блокова будова на цій порівняно невеликій площі на захід та південь від с. Розвадів, де відбувалися інтенсивні тектонічні рухи, що призвело до формування системи поперечних і поздовжніх скидів з різними амплітудами опускання, що визначають особливості геологічної будови

Проведений аналіз подій, що відбувались в ніч з 26 на 27 квітня 2023 року, дають підстави стверджувати, що прибережна до р. Дністер частина село Розвадів Стрийського району стала місцем першого на Львівщині проявом грязьового вулканізму на стадії одноразового утворення множинних вибухово-розмивних кальдер різних розмірів – Розвадівський геологічний феномен із загазованістю ґрунтового масиву, раптовою появою грифонів, проявом ефекту ерліфту, спостережуваними явищами фонтанування насиченої газом пульпи та виділенням отруйних газів.

Розвадівський геологічний феномен – перший на Львівщині прояв грязьового вулканізму насамперед зумовлений вищезазначеними особливостями геотектонічної позиції та геологічної будови. Геологічними проявами грязьового вулканізму у с. Розвадів в ніч з 26 на 27 квітня 2023 року були:

1) раптові викиди газу у вигляді грифонів на лівому березі р. Дністер на відстані від кількох десятків до кількох сотень метрів від русла річки (рис. 5);

2) ефекти ерліфту у перший від поверхні четвертинний водоносний горизонт, що проявився «закипанням» води у колодязях та підняття рівня у них вище денної поверхні, аж до самовиливу (рис. 6);

3) фонтанування насиченої газом та завислими глинистими частинками води (пульпи) на висоту 5-7 метрів (рис. 7).

4) одноразове утворення множинних вибухово-розмивних кальдер різних розмірів від 1 на 1 м і глибиною 2-3 м до 2 на 5 м і глибиною 3-4 м із заповненням їх водою (рис. 8);

5) залишкова дегазація ґрунтового масиву, який ще певний час продовжувалась дегазовуватись із виділенням газу із відчутним запахом сірководню.



Рис. 5. Раптові викиди газу у вигляді грифонів на лівому березі р. Дністер на відстані від кількох десятків до кількох сотень метрів від русла річки Дністер, задокументовані місцевими мешканцями

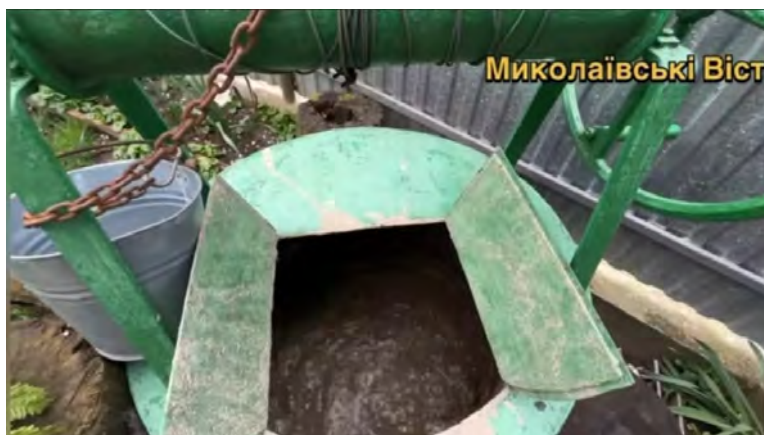


Рис. 6. Ефекти ерліфту у першій від поверхні четвертинний водоносний горизонт, що проявився «закипанням» води у колодязях та підняття рівня у них вище денної поверхні, аж до самовиливу

Якими можуть бути ймовірні причини грязьового вулканізму – Розвадівського геологічного феномену та які робочі версії слід верифікувати у процесі обстежень та досліджень?

Одночасне розкриття свердловиною бурової компанії «Горизонти» газової пастки та розломної зони по якій відбулась міграція газу до житлової забудови і лише після припинення робіт на буровій установці газовиділення, утворення грифонів, фонтанування та провалуотворення почали пригнічуватись. Хоч дана версія із повідомлень



Рис. 7. Фонтанування насиченої газом та завислими глинистими частинками води (пульпи) на висоту 5-7 метрів



Рис. 8. Одноразове утворення множинних вибухово-розмивних кальдер різних розмірів від 1 на 1 м і глибиною 2-3 м до 2 на 5 м і глибиною 3-4 м із заповненням їх водою

інформаційних агенств вважається основною, бо це підтвердили представники бурової компанії «Горизонти», які без оприлюднених результатів розслідування взяла на себе витрати проживання і харчування переселених мешканців та заявили, що компенсує нанесені збитки, до неї (такої версії) є дуже багато запитань, на які важко дати однозначну відповідь, насамперед відстань 0,9 км від місця буріння до газовиділення, далі шлях міграції та ряд інших.

В той же час взаємозв'язок свердловини з місцем витoku, є вагомим запереченням, а саме 900 м до точки викиду від свердловини через зону глибинного розлому. Колектором четвертинні відклади априорі не можуть бути з багатьох причин. По-перше, вони тут заглинизовані, включаючи гравійні відклади, по-друге – проникність, враховуючи потужності вертикальна набагато вище горизонтального (по шляху були би тисячі можливостей розгрузки на поверхню, враховуючи особливості нашарування в заплавах умовах), і головне, Дністер являється зоною розвантаження.

Знаючи колекторські властивості дашавських відкладів, перетоки по цим пластам проходили би дуже повільно із значним градієтом падіння тиску. Через 1 км, тиски з 40 атмосфер від розвідувальної свердловини до місця прояву грязьового вулканізму в межах Розвадова були би повністю нівельованими. Тим більше, розвантаження тисків йшло у межах свердловини, і враховуючи закономірності, рух газів йшов по шляху найменшого опору, вздовж колони на поверхню, а не ніяк в пласт.

Але, тектонічні зрушення в межах глибинного розлому, могли спровокувати порушення щільності на значній площі, що вплинуло на зміну умов в межах сотень метрів чи кілометрів. Ймовірно у цей час, чи трохи раніше, був зареєстрований землетрус, який призвів до одночасного газовиділення у свердловині та у с. Розвадів.

Не слід списувати з рахунків природну загазованість заплави р. Дністер, де біля с. Розвадів проходить глибинний розлом між Зовнішньою зоною Передкарпатського прогину та Східно-Європейською платформою, по якому внаслідок тектонічних зміщень без виразних сейсмічних подій вперше маркувалось раптовим виділенням газу у вигляді грифонів, фонтануванням та провалоутворенням.

Спостережувані події та явищ у прибережній до р. Дністер частині села Розвадів Стрийського району є однозначними ознаками того, що в ніч з 26 на 27 квітня 2023 року тут мав місце прояв грязьовий вулканізм на стадії одноразового утворення множинних вибухово-розмивних мікрокальдер – Розвадівський геологічний феномен, зумовлений як особливостями геологічної будови, так і техногенним порушенням цілісності геологічного середовища, який потенційно може мати продовження, і навіть періодичний чи постійний характер, при цьому порушити нормальні умови проживання більшої кількості мешканців: саме тому вкрай необхідні детальні дослідження цього геологічного феномену з метою забезпечення екологічної безпеки.

Висновки

За результатами проведених досліджень, можна зробити наступні висновки:

1. Спостережувані події та явища у прибережній до р. Дністер частині села Розвадів Стрийського району є однозначними ознаками того, що в ніч з 26 на 27 квітня 2023 року тут мав місце прояв грязьового (осадового) вулканізму на стадії одноразового утворення множинних вибухово-розмивних мікрокальдер – Розвадівський геологічний феномен, зумовлений як особливостями геологічної будови, так і техногенним порушенням цілісності геологічного середовища, який потенційно може мати продовження, і навіть періодичний чи постійний характер, при цьому порушити нормальні умови проживання більшої кількості мешканців: саме тому вкрай необхідні детальні дослідження цього геологічного феномену з метою забезпечення екологічної безпеки.

2. Причиною такої ситуації, є те, що дана проблема одноразового прояву грязевого вулканізму, спостережуваних чисельних газових грифонів на поверхні, проявів ефекту ерліфту у колодязях, фонтанування глинистих суспензій з під землі з утворенням на поверхні кількох досить великих вирв об'ємом до 100 м³, у тому числі під житловими будинками, замулення кількох присадибних ділянок, погіршення якості води у індивідуальних водозаборах, у період буріння розвідувальної свердловини на природній газ буровою компанією «горизонти», належним чином не досліджено і не обґрунтовано та не встановлені точні причини того, що спостерігалось: буровою компанією «Горизонти» ліквідовані лише візуально видимі наслідки, а приховані «сюрпризи» залишилися поза кадром, при цьому органами державної влади не ініційовано проведення необхідних геологічних досліджень для з'ясування причин.

3. Якщо такі дослідження не будуть проведені, не будуть з'ясовані причини того, що сталося, не будуть виявлені потенційно ще не провалені небезпеки, то повторення подій, може бути цілком реальним, особливо при пошуковому бурінні на суміжних прирозломних площах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Дяків В.О. Геологічні прояви, ймовірні природні та техногенні чинники активізації грязевого вулканізму в ніч з 26 на 27 квітня 2023 р. у с. Розвадів Стрийського району Львівської області / В.О. Дяків, В.І. Павлюк, М.В. Яремович. Матеріали Восьмої міжнародної науково-практичної конференції: «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування» у 2 т. (2023 р., м. Львів). К.: 2023. С. 470–477
2. Mazzini A., Etiopie G., Mud volcanism: an updated review. URL: https://cdn.fsbx.com/v/t59.2708-21/95106617_790851374773452_5965295075440197632_n.pdf/EARTH_2016_84_Revision1_V0_clean.pdf
3. Надзвичайна ситуація на Львівщині: Витік газу у селі Розвадів URL: <https://youtu.be/4Tjm2i6bmRc>
4. Що відомо про надзвичайну ситуацію в Розвадові? URL: <https://www.facebook.com/groups/m.visti/permalink/1295026221226852/>
5. У селі на Львівщині стався масштабний витік газу URL: <https://youtu.be/uu1eTmuJKZ8>
6. Життя на газовій “діжці”! Львівщину накрила дивна аномалія URL: https://youtu.be/T3fzz_PMXRQ
7. Living near mud volcanoes should be prevented URL: <https://www.azernews.az/nation/140955.html>

REFERENCES

1. Dyakiv, V.O. (2023). Geological manifestations, probable natural and man-made factors of the activation of mud volcanism on the night of April 26-27, 2023 in the village of Rozvadiv, Stryi district, Lviv region / V.O. Dyakiv, V.I. Pavlyuk, M.V. Yaremovych. Materials of the Eighth International Scientific and Practical Conference: "Subsoil use in Ukraine. Investment prospects" in 2 vols. (2023, Lviv). K.: P. 470–477
2. Mazzini A., Etiopie G., Mud volcanism: an updated review Retrieved from: https://cdn.fsbx.com/v/t59.2708-21/95106617_790851374773452_5965295075440197632_n.pdf/EARTH_2016_84_Revision1_V0_clean.pdf
3. Emergency situation in Lviv region: Gas leak in the village of Rozvadiv Retrieved from: <https://youtu.be/4Tjm2i6bmRc>
4. What is known about the emergency situation in Rozvadiv? Retrieved from: <https://www.facebook.com/groups/m.visti/permalink/1295026221226852/>
5. A large-scale gas leak occurred in a village in the Lviv region Retrieved from: <https://youtu.be/uu1eTmuJKZ8>

6. Life on a gas “barrel”! A strange anomaly covered the Lviv region Retrieved from: https://youtu.be/T3fzz_PMXRQ
7. Living near mud volcanoes should be prevented Retrieved from: <https://www.azernews.az/nation/140955.html>

GEOLOGICAL PHENOMENON OF MUD VOLCANOSIS ON APRIL 26–27, 2023 IN THE VILLAGE OF ROZVADIV, STRYI DISTRICT, LVIV REGION

Vasyl Dyakiv¹, Nazar Borys¹, Vasyl Pavlyuk², Mykhailo Yaremovych³

¹ Ivan Franko National University of Lviv, 4, Hrushevskoho Str., Lviv, Ukraine, 79005
e-mail: dyakivw@yahoo.com; nazarolegovic526@gmail.com

² LKP "Lvivvodokanal", 64 Zelena Str., Lviv, Ukraine, 79017
e-mail: zenonzxv@gmail.com

³ LLC NTVP "Geological Technologies", 4, Hrushevskoho Str., Lviv, Ukraine, 79005
e-mail: Nechuya-Levytskoho; mishayaremovich@gmail.com

An analysis of a single manifestation of mud volcanism was conducted on the night of April 26-27, 2023 in the coastal part of the village of Rozvadiv, Stryi district, Lviv region, to the Dniester River. All manifestations were documented by local residents in the form of publicly available photo and video materials. The localization of the studied area near gas-bearing areas and fault zones gave us reason to call the observed phenomena a manifestation of mud (sedimentary) volcanism, which is one of the most interesting geological phenomena, and which is of great importance for understanding the geotectonic position of this territory, the search for hydrocarbon deposits, seismicity, potential geological hazards and environmental consequences associated with greenhouse gas emissions.

A characteristic feature of the described geological phenomenon is the passage here of a clear geotectonic boundary between the Bilche-Volytskyi zone of the Precarpathian trough and the East European platform, tectonic disturbance, increased gasification of the soil massif, where the Rozvadiv geological phenomenon was observed - the first manifestation of mud volcanism in the Lviv region, primarily due to the above-mentioned features of the geotectonic position and geological structure. Geological manifestations of mud volcanism in the village of Rozvadiv on the night of April 26 to 27, 2023 were: 1) sudden gas emissions in the form of griffins on the left bank of the Dniester River at a distance of several tens to several hundred meters from the riverbed; 2) airlift effects in the first Quaternary aquifer from the surface, which manifested itself in the "boiling" of water in wells and raising their level above the daytime surface, up to spontaneous discharge; gushing of water (pulp) saturated with gas and suspended clay particles to a height of 5-7 meters. 4) one-time formation of multiple explosive-erosive calderas of various sizes from 1 by 1 m and 2-3 m deep to 2 by 5 m and 3-4 m deep with their flooding with water; 5) residual degassing of the soil massif, which continued to degas for some time with the release of gas with a noticeable smell of hydrogen sulfide.

The described manifestation of mud volcanism has already caused negative consequences and can potentially be repeated. The probable natural and man-made factors of the activation of mud volcanism are substantiated. To clarify the exact causes, detailed studies of this geological phenomenon are necessary in order to ensure environmental safety.

Key words: mud volcanism, griffins, craters, airlift effect, geological environment, East European Platform, Precarpathian trough, Bilche-Volytska zone, deep fault, gas fields, exploratory drilling.

Дата першого надходження статті до видання: 12.01.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 20.03.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026

ВТРАТИ НАУКИ

УДК 55 092

DOI <https://doi.org/10.30970/vgl.40.17>

ПАМ'ЯТІ ВИДАТНОГО ВЧЕНОГО-ГЕОЛОГА ПРОФЕСОРА ЮРІЯ ЗИНОВІЙОВИЧА КРУПСЬКОГО

Галина Гоцанюк <https://orcid.org/0000-0002-2794-7013>

Антоніна Іваніна <https://orcid.org/0000-0003-4112-941X>

*Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005*

e-mail: halina.hotsanyuk@lnu.edu.ua; valentyina.marusyak@lnu.edu.ua

Стаття присвячена пам'яті професора кафедри екологічної та інженерної геології і гідрогеології Львівського національного університету імені Івана Франка Юрія Зиновійовича Крупського – відомого українського вченого-геолога у галузі нафтогазової геології України почесного розвідника надр, академіка Української нафтогазової академії, дійсного члена Наукового товариства ім. Шевченка, головного наукового співробітника ДП НДІ «Науканафтогаз» НАК «Нафтогаз України», експерта Державної комісії України із запасів корисних копалин, члена «Експертної ради ВАК Укргазвидобування НАК Нафтогаз України», члена редколегій фахових геологічних видань України, члена Всеукраїнської нафтової асоціації Світового нафтового конгресу, члена Експертної ради дивізіону «Нафтогаз Розвідка та Видобування».

Висвітлено головні віхи життєвого та наукового шляху Юрія Зиновійовича, окреслено наукові інтереси та здобутки видатного ученого виробничника та педагога, який залишив вагомий внесок у розвиток фундаментальних і прикладних досліджень у галузі геології та нафтогазоносності України; геодинаміки альпійських складчастих структур на території України; геології та геодинаміки Волино-Поділля, та суміжних територій. Останні два десятиліття життя професор плідно поєднував наукову та педагогічну діяльність викладаючи у Львівському університеті та готуючи висококваліфікованих спеціалістів для нафтогазової галузі України бо за безпосередньої участі Юрія Зиновійовича відкрито понад 30 родовищ нафти та газу.

Ключові слова: біографія, геологічний факультет, геологія, родовища нафти та газу, Волино-Поділля, Карпати.



Сумна звістка сколихнула геологічну спільноту 29 вересня 2025 року – відійшов у вічність видатний український вчений у галузі нафтогазової геології професор кафедри екологічної та інженерної геології і гідрогеології Львівського національного університету імені Івана Франка **Юрій Зиновійович Крупський** доктор геологічних наук, академік Української нафтогазової академії та дійсний член Наукового товариства ім. Т. Шевченка, член вченої ради.

ІГГК НАН України, вченої ради геологічного факультету ЛНУ ім. І. Франка, член громадської організації Експертна рада ВАК «Укргазвидобування НАК Нафтогаз України» та член редколегій фахових журналів, експерт ДКЗ, головний науковий консультант у видобувній компанії ТОВ «Захід-надрасервіс».



Юрій Зиновійович народився 1 червня 1941 р. в с. Вовче Турківського району Львівської області (тепер с. Серeda Самбірський район Львівської області) у священничій родині. Батька закатували НКВС у червні 1941 р. (реабілітований 2009 р.), мати померла 1951 р. Дитячі роки проходили в мальовничих Карпатах, де 1957 р. із золотою медаллю закінчив місцеву школу та вступив у Львівський політехнічний інститут на нафтовий факультет за спеціальністю «Геологія і розвідка нафтових та газових родовищ». Здобувши кваліфікацію інженера-геолога, він розпочав кар'єру в польових і бурових організаціях – від оператора й геолога до старшого геолога Пасічнянської контори буріння та Надвірнянського управління бурових робіт. У 1970–1980-х роках обіймав провідні посади в організаціях, пов'язаних з глибоким бурінням та розвідкою родовищ, що дало йому унікальний практичний досвід у відкритті і вивченні нафтових і газових покладів [3].

З 1981–1986 рр. Юрій Зиновійович обіймав посаду головного геолога Калузької нафтогазорозвідувальної експедиції глибокого буріння об'єднання Західукргеологія Мінгео України, а далі до 2003 рр. – головного геолога з нафти і газу об'єднання Західукргеологія. В цьому часі за безпосередньої участі Ю. Крупського відкрито низку нових родовищ нафти і газу: Соколовецьке нафтове (найглибше родовище в Європі – 5 810 м); Черногузьке газове, Лопушнянське нафтове (Чернівецька обл.); Солотвинське газове (Закарпатська обл.); Павлівське нафтове (на Волино-Поділлі); Струпків-Черемхівське, Дебиславицьке, Пилипівське та ін. газові (у Зовнішній зоні Передкарпатського прогину у відкладах баденію та сармату, на глибинах 80–800 м) [2].

Наукові погляди професора Юрія Крупського вирізнялися системним підходом до геодинаміки, літосферних плит та перспектив нафтогазоносності регіонів Карпат і Волино-Поділля. У 1975 році на основі аналізу великого масиву нового фактичного матеріалу успішно захистив кандидатську дисертацію на тему «Глибинна геологічна будова і перспективи нафтогазоносності південно-східної частини Передкарпатського прогину (міжріччя Лімниця-Люча)», а в 2000 році – докторську дисертацію по спеціальності 04.00.17 – Геологія нафти і газу «Геодинамічні умови формування і нафтогазоносність Карпатського і Волино-Подільського регіонів України» в Інституті геології і геохімії горючих копалин (Львів). Наукові результати його праць мають практичне значення для геологорозвідувальних і науково-дослідних організацій.

За роки наукової роботи Юрій Зиновійович опублікував понад 230 наукових праць (рис. 1), серед яких, монографії: Геодинамічні умови формування і нафтогазоносність Карпатського та Волино-Подільського регіонів України (2001), Теоретичні основи нетрадиційних геологічних методів пошуку вуглеводнів (2002 у співавторстві), Карпатська нафтогазоносна провінція (2004 у співавторстві), Дослідження сучасної геодинаміки Українських Карпат (2005 у співавторстві), Нетрадиційні джерела вуглеводнів України Книга 1. Огляд проблеми (2014 у співавторстві), Нетрадиційні джерела вуглеводнів України. Книга 2. Західний нафтогазоносний регіон (2014 у співавторстві), Нетрадиційні джерела вуглеводнів України. Книга 8 (2014 у співавторстві), Глобальні екологічні проблеми Землі та їх моніторинг (2017), Геологія і нафтогазоносність Західного регіону України (2020), Перспективи нарощування ресурсної бази вуглеводнів України за рахунок нетрадиційних джерел (2021, у співавторстві), Резерв нафтогазовидобутку Західного регіону України (2022 у співавторстві, електр. ресурс), Бойки, гуцули, лемки і про автора мелодії до гімну України (2025) та навчальні посібники: Геологія та екологія видобутку нафти і газу: навчальний посібник (2010), Пошуки і розвідка вуглеводнів: приповерхневі дослідження та їх інтерпретація (2022), патент на корисну модель №126051 «Спосіб визначення стану нафтогазоносності розрізу ліквідованих свердловин» (2018 у співавторстві).

Під керівництвом Ю. Крупського виконано низку науково-дослідних робіт, пов'язаних з обґрунтуванням геологорозвідувальних робіт на нафту і газ, розробка нових напрямів (перспективи розшуків так званого сланцевого газу та газу з ущільнених колекторів) та підготовлено десятки наукових звітів.

Під науковим керівництвом Юрія Зинівійовича підготовлено та успішно захищено три кандидатські дисертації за спеціальністю 04.00.17 – Геологія нафти і газу: Медвідь Г. Б. (Палеогідрогеологічні реконструкції міоценових товщ північно-західної частини зовнішньої зони Передкарпатського прогину у зв'язку з нафтогазоносністю, 2013), Андрейчук М. М. (Особливості геологічної будови і пастки вуглеводнів зовнішньої зони Передкарпатського прогину, 2013), Шлапінський В. Є. (Геологічна будова Скибового, Кросненського і Дуклянсько-Чорногорського покривів Українських Карпат та перспективи їх нафтогазоносності, 2015). Він був офіційним опонентом дисертацій за спеціальністю 04.00.17 – Геологія нафти і газу: кандидатських у Яреми А. В. (Особливості поширення та перспективи нафтогазоносності палеогенових порід-колекторів у межах Бориславського нафтогазоносного району, 2012), Гаєвської Ю. П. (Літолого-фаціальні особливості еоценових відкладів Бориславсько-Покутської зони Передкарпатського прогину та передових скиб Скибової зони Український Карпат у зв'язку з нафтогазоносністю, 2019) та докторської у Радковець Н. Я. (Еволюція осадових товщ південно-західного схилу Східноєвропейської платформи впродовж пізнього протерозою-фанерозою у зв'язку з їх потенційною нафтогазоносністю, 2019). Професор підготував понад 30 відгуків на докторські та кандидатські дисертації, рецензував монографії, навчальні посібники та наукові статті, тощо. Був членом редакційних колегій журналів «Геологія і геохімія горючих копалин» (з 1992), «Геодинаміка» (2007–17), «Вісник львівського університету. Серія геологічна» (з 2012), «Палеонтологічного збірника» (з 2016, а з 2023 у редакційній раді) [4].



Рис. 1. Деякі монографії та навчальні посібники, видані професором Ю. Крупським за час наукової роботи в університеті

Практична діяльність Юрія Зинівійовича мала вагомий результати: він брав участь у відкритті та розвідці численних родовищ Західного нафтогазоносного регіону України, а також у розробці чотирьох глибоких газоконденсатних родовищ у районі Уренгойського

родовища (росія) [3]. Впродовж 1986–1990 років долучався до експертної роботи в країнах-учасницях Ради економічної взаємодопомоги, а також активно представляв науку на всеукраїнських та міжнародних конференціях і форумах (рис. 3).



Рис. 2. Доповіді професора Крупського Ю.З. на наукових конференціях: геологічного факультету ЛНУ ім. І. Франка (фото 1, 3, 4 – 2011, 2012, 2014) та ІГГГК НАН України (фото 2 – 2017)

Протягом багатьох років Юрій Зиновійович активно працював у складі багатьох наукових геологічних установ, обіймаючи посади головного геолога та консультанта ДП «Західургеологія» НАК «Надра України», головного наукового співробітника ДП НДІ «Науканафтогаз» НАК «Нафтогаз України».

Учений досліджував геологічну будову і перспективи нафтогазоносності Західного нафтогазоносного регіону України та прилеглих регіонів Польщі, Словаччини, Угорщини і Румунії, розробляв теорію літосферних плит для пояснення геодинамічного розвитку і тектонічної будови Західного й Південного регіонів та опрацьовував глобальні екологічні проблеми Землі.

Понад два десятки років професор Юрій Крупський присвятив підготовці молодих спеціалістів викладаючи на геологічному факультеті Львівського національного університету ім. І. Франка, зокрема, спочатку за сумісництвом (2001–2011 рр.), а з вересня 2014 р. і до кінця життя за основним місцем праці обіймав посаду професора кафедри екологічної та інженерної геології і гідрогеології. У пам'яті колег та студентів Юрій Зиновійович назавжди залишився високоерудований та працьовитим, людяним та доброзичливим, як приклад справжньої національної еліти і толерантності. Заслужено обіймаючи посаду професора, як педагог, він особливо вболівав за якісну підготовку висококваліфікованих



Рис. 3. Нагородження професора Крупського Ю.З.: 1, 2. Заступник голови Львівської ОДА Замлинський Р. (2019); 3, 4 Президент ГО «Спілка геологів України» Лівенцева Г. А. (почесною відзнакою – медаллю «За заслуги» I ступеня (2021) на VII Міжнародній науково-практичній конференції «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування»)

спеціалістів нафтогазової геології і всіляко сприяв організації навчального процесу: підготував та видав навчально-методичні посібники: «Геологія та екологія видобутку нафти і газу» та «Глобальні екологічні проблеми Землі та їх моніторинг». У 2022 році підготував навчальний посібник для студентів-магістрів спеціальностей 101 «Екологія» і 103 «Науки про Землю» (ОП «геологія нафти і газу», «геологія») «Пошук і розвідка вуглеводнів: приповерхневі дослідження та їхня інтерпретація». У посібнику автором вперше розглянуто комплекс приповерхневих досліджень, які використовуються перед бурінням свердловин під час пошуку і розвідки покладів вуглеводнів. Вони охоплюють сукупність методи: сейсморозвідка, гравіметрія, магніторозвідка, поверхневі методи і радіометрія, термометрія, геоморфологічні методи, геохімічні методи, електророзвідка та космогеологічні методи. Автор розкрив особливості шляхів міграції вуглеводнів до земної поверхні та обґрунтування точного вибору місця розташування свердловин глибокого буріння та зниження ризиків такого трудомісткого процесу. Юрій Зинівійович багаторазово організовував маршрути на практику та екскурсії на бурові та спеціалізовані лабораторії для студентів-магістрів спеціальностей 101 «Екологія» і 103 «Науки про Землю» (Освітня програма «Геологія нафти і газу і Геологія»). Під науковим керівництвом професора Юрія Крупського підготовлено десятки наукових робіт: курсових, бакалаврських та магістерських. За його ініціативи відкрито магістерську освітню програму «Геологія нафти

і газу» в межах спеціальності 103 «Науки про Землю», де Юрій Зиновійович був гарантом, і в 2023 році ця програма пройшла успішну акредитацію НАЗЯО України отримавши сертифікат (№ ВС1235 від 15.12.23) для провадження освітнього процесу.

За високий професіоналізм, багаторічну сумлінну працю та вагомі досягнення на науковій і освітній ниві професор Юрій Зиновійович був удостоєний багатьох відзнак державними та галузевими нагородами: «Ветеран праці» (1989), «Відмінник розвідки надр» (1991), член Наукового товариства Шевченка (1990), присвоєно звання Почесний розвідник надр (1998), «100 років Державної геологічної служби України», Медаль ім. Лучицького (2001), Американська почесна медаль – нагорода Американського біографічного інституту (2002), Почесна грамота і медаль Кабінету Міністрів України (2008), Подяка Львівської обласної державної адміністрації за високий професіоналізм, сумлінну працю та вагомий особистий внесок у розвиток геологічної галузі області (2019), медаль «За заслуги» I ступеня ВГО «Спілка геологів України» (2021), подяка ректора Львівського національного університету імені Івана Франка за багаторічну сумлінну працю та вагомий особистий внесок у підготовці спеціалістів геологічної галузі (рис. 3).

Юрій Зиновійович Крупський назавжди увійшов до історії української геології як учений-практик і педагог. Його ідеї, наукові праці та учні продовжують працювати на розвиток геологічної науки і нафтогазовидобувної галузі України. А життєве кредо Юрія Зиновійовича як науковця: «Критерій правильності наукових теорій – їх застосування у практиці в теперішній час і в майбутньому» залишиться у віках....

Світла та вічна пам'ять про Юрія Зиновійовича, визначного вченого, педагога та практика геологічної науки в Україні назавжди залишиться в серцях геологічної спільноти, колег та учнів!

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Білоніжка П., Матковський О., Павлунь М., Сливко Є., Іваніна А. Геологічний факультет Львівського національного університету імені Івана Франка (1945–2020). Довідково-інформаційне видання. Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. І. Франка, 2020. 208 с.
2. Лещух Р., Полин'як Б., Чепіль П. Ю.З. КРУПСЬКИЙ (до 70-річчя від дня народження) Вісник Львівського університету. Серія геологічна. 2012. Випуск 26. С. 238–240
3. М. Павлунь, Г. Гоцанюк, В. Марусяк. Крупський Юрій Зиновійович (до 80-річчя з дня народження) Вісник Львівського університету. Серія геологічна. 2021. Вип. 35. С. 127–130. DOI: <https://doi.org/10.30970/vgl.35.10>.
4. Encyclopedia. Львівський національний університет імені Івана Франка. Довідкове видання: в 2 т. Т. II: Л-Я. Львів: ЛНУ ім. Івана Франка, 2014. 764 с. +224 вкл.

REFERENCES

1. Bilonizhka, P., Matkovskiy, O., Pavlun, M., Slyvko, Ye., Ivanina, A. (2020). Neolohichnyi fakultet Lvivskoho natsionalnoho universytetu imeni Ivana Franka (1945–2020). Dovidkovo-informatsiine vydannia. Lviv: Vydavnychiy tsentr LNU im. I. Franka, 208 s.
2. Leshchukh, R., Polyniak, B., Chepil, P. Yu. (2012). Z. KRUPSKIYI (do 70-richchia vid dnia narodzhennia) *Visnyk Lvivskoho universytetu. Seriiia heolohichna*. Vypusk 26. S. 238–240
3. M. Pavlun, H. Hotsanyuk, V. Marusiak. (2021). Krupskiyi Yurii Zynoviiiovych (do 80-richchia z dnia narodzhennia) *Visnyk Lvivskoho universytetu. Seriiia heolohichna*. Vyp. 35. S. 127–130. DOI: <https://doi.org/10.30970/vgl.35.10>.
4. Encyclopedia. Lvivskiyi natsionalnyi universytet imeni Ivana Franka. Dovidkove vydannia: v 2 t. T. II: L-Ia. Lviv: LNU im. Ivana Franka, 2014. 764 s. +224 vkl.

IN MEMORY OF THE OUTSTANDING SCIENTIST AND GEOLOGIST, PROFESSOR YURIY ZINOVIIOVYCH KRUPSKYI

Halyna Hotsanyuk, Antonina Ivanina

*Ivan Franko National University of Lviv, 4, Hrushevskoho Str., Lviv, Ukraine, 79005
e-mail: halina.hotsanyuk@lnu.edu.ua; valentyana.marusyak@lnu.edu.ua*

This article is dedicated to the memory of Yuriy Zinoviiovych Krupskiy, Professor of the Department of Environmental and Engineering Geology and Hydrogeology at Ivan Franko National University of Lviv. He was a renowned Ukrainian scientist and geologist in the field of oil and gas geology, an Honorary Explorer of the Subsoil, an Academician of the Ukrainian Oil and Gas Academy, and a Full Member of the Shevchenko Scientific Society. Additionally, he served as the Chief Research Fellow at the State Enterprise Scientific Research Institute (SE SRI) "Naukanaftogaz" of NJSC "Naftogaz of Ukraine," an expert for the State Commission of Ukraine on Mineral Resources, and a member of the "Expert Council of the HAC Ukgazvydobuvannya of NJSC Naftogaz of Ukraine". He was also a member of the editorial boards of professional geological publications in Ukraine, a member of the All-Ukrainian Oil Association of the World Petroleum Congress, and a member of the Expert Council of the "Naftogaz Exploration and Production" division.

The main milestones in the life and scientific career of Yuriy Zinoviiovych are highlighted, and the scientific interests and achievements of this outstanding scientist, industrialist, and educator, who made a significant contribution to the development of fundamental and applied research in the field of geology and oil and gas resources in Ukraine, are outlined. geodynamics of Alpine folded structures in Ukraine; geology and geodynamics of Volyn-Podillia and adjacent territories. During the last two decades of his life, the professor fruitfully combined scientific and pedagogical activities, teaching at Lviv University and training highly qualified specialists for the oil and gas industry of Ukraine, because with the direct participation of Yuriy Zinoviiovych, more than 30 oil and gas fields were discovered.

Key words: biography, geology, oil and gas deposits, Volyn-Podillia, Carpathians.

Дата надходження до видання: 12.02.2026
Дата публікації (оприлюднення): 29.05.2026

ВИПУСКНИКИ ГЕОЛОГІЧНОГО ФАКУЛЬТЕТУ (2024 ТА 2025 РОКІВ)

2024 РІК ДЕННЕ ВІДДІЛЕННЯ СПЕЦІАЛЬНІСТЬ 103 НАУКИ ПРО ЗЕМЛЮ Бакалавр наук про Землю

Фахівець з геології

- | | |
|--------------------------------------|-------------------------------------|
| 1. Бардин Галина Андріївна | 9. Івасів Петро Ярославович |
| 2. Бондарчук Валентина Вікторівна | 10. Комарницька Василина Миколаївна |
| 3. Буяльський Ілля Сергійович | 11. Малетич Максим Миколайович |
| 4. Володимирець Любомир Мирославович | 12. Пильгук Ірена Віталіївна |
| 5. Гужда Софія Володимирівна | 13. Потапенко Юрій Антонович |
| 6. Демус Олександр Тарасович | 14. Сухоставець Софія Олегівна |
| 7. Зубик Василь Ігорович | 15. Тарасов Дмитро Костянтинівич |
| 8. Іванюк Марія Михайлівна | 16. Терешкевич Іван Степанович |

Фахівець з комп'ютерних технологій в науках про Землю

- | | |
|---------------------------|-----------------------------|
| 1. Абдимумінова Ірода | 11. Ілясов Довлет |
| 2. Абраєв Абрай | 12. Мамметдурдієв Овез |
| 3. Абраєв Говшут | 13. Мередов Агагелді |
| 4. Акиєв Сердар | 14. Розимурадов Шаміль |
| 5. Байрамов Агаберди | 15. Рустамов Рамазан |
| 6. Байрамов Сердар | 16. Ханиєв Мухаммет |
| 7. Башімов Аманиаз | 17. Ходжакулієва Узукджемал |
| 8. Велджанов Велназар | 18. Ходжієв Хасан |
| 9. Гарригулов Єгенмат | 19. Чарієв Батир |
| 10. Гурбандурдієв Акмират | 20. Чарієв Езіз |

СПЕЦІАЛЬНІСТЬ 101 ЕКОЛОГІЯ Бакалавр з екології

Фахівець з комп'ютерних технологій в екології та управління якістю довкілля

- | | |
|-------------------------------------|---------------------------|
| 1. Аннаєв Арслан | 9. Махмутджанов Мамурджан |
| 2. Ахметова Каміла | 10. Нурмухамедова Айджан |
| 3. Бегмірадов Бабамурат | 11. Сарієв Гурбангелді |
| 4. Джумагелдієв Атаджан | 12. Сеїдов Іляс |
| 5. Жепбаров Іглас | 13. Фазілов Жалоліддін |
| 6. Жумаєв Жанмурад | 14. Фазілов Салохіддін |
| 7. Кравець Софія Ігорівна | 15. Чарієв Гурбан |
| 8. Лавренюк Костянтин Олександрович | |

ОР Магістр
СПЕЦІАЛЬНІСТЬ 103 НАУКИ ПРО ЗЕМЛЮ
ОПП Геологія

- | | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Василів Володимир Олегович | 7. Лабінський Даниїл Олегович |
| 2. Возничак Маркіян Орестович | 8. Павелкевич Юрій Андрійович |
| 3. Гайовський Михайло Володимирович | 9. Рацкий Назарій Іванович |
| 4. Гулянич Андрій Станіславович | 10. Ткачук Богдан Віталійович |
| 5. Завербний Андрій Ярославович | 11. Ханас Володимир Володимирович |
| 6. Кілестин Богдан Михайлович | |

ОПП Геохімія та мінералогія

- | | |
|--|----------------------------------|
| 1. Бірук Дмитрій Сергійович | 7. Реснт Володимир Олегович |
| 2. Гріпасов Віктор Євгенович | 8. Стецьків Олександр Вікторович |
| 3. Ільчук Валентин Антонович | 9. Харчук Вадим Васильович |
| 4. Крайник Павло Євстахович | 10. Чернокоз Вадим Едуардович |
| 5. Лукасевич Максим-Владислав Ігорович | 11. Юрків Марко Петрович |
| 6. Мальченко Євген Олексійович | |

ОПП Геологія нафти і газу

- | | |
|---------------------------------|-------------------------------------|
| 1. Андріюк Олег Олександрович | 12. Пеліпек Іван Іванович |
| 2. Дзева Андрій Богданович | 13. Перелигін Семен Вячеславович |
| 3. Дзева Ярослав Богданович | 14. Поліщук Костянтин Володимирович |
| 4. Думич Юрій Іванович | 15. Пушкар Максим Володимирович |
| 5. Іваницький Юрій Ярославович | 16. Ровенчак Олег Іванович |
| 6. Карпінець Віталій Васильович | 17. Синюта Юрій Володимирович |
| 7. Ковалко Павло Михайлович | 18. Усік Андрій Олександрович |
| 8. Легкий Андрій Васильович | 19. Хмельницький Іван Михайлович |
| 9. Мисько Андріан Володимирович | 20. Хмельницький Тарас Михайлович |
| 10. Олексин Михайло Романович | 21. Черняк Андрій Ярославович |
| 11. Ольшанецький Ігор Романович | 22. Чіпко Юрій Васильович |

ОПП Інженерна геологія та гідрогеологія

- | | |
|---------------------------------|--------------------------------|
| 1. Звір Андрій Миколайович | 5. Лаврик Олесь-Петро Олегович |
| 2. Кіндрат Володимир Андрійович | 6. Ревер Святослав Андрійович |
| 3. Ковалишин Юрій Орестович | 7. Улинець Василь Петрович |
| 4. Костів Максим Богданович | 8. Хоронжак Роман Юрійович |

СПЕЦІАЛЬНІСТЬ 101 ЕКОЛОГІЯ
ОПП Екологічний менеджмент і геотуризм

- | | |
|-----------------------------|--------------------------------------|
| 1. Аманова Нурджемал | 4. Сокальська Ольга-Аліна Миколаївна |
| 2. Ісевич Дмитро Сергійович | 5. Несторович Орест Любомирович |
| 3. Сапаров Сніш | |

ЗАОЧНЕ ВІДДІЛЕННЯ
ОР Магістр
СПЕЦІАЛЬНІСТЬ 103 НАУКИ ПРО ЗЕМЛЮ
ОПП Інженерна геологія та гідрогеологія

- | | |
|----------------------------------|------------------------------|
| 1. Бачевський Дмитро Ярославович | 3. Сидор Роман Михайлович |
| 2. Борняк Данило Романович | 4. Федюшко Галина Зіновіївна |

2025 РІК
ДЕННЕ ВІДДІЛЕННЯ
СПЕЦІАЛЬНІСТЬ 103 НАУКИ ПРО ЗЕМЛЮ
Бакалавр наук про Землю

Фахівець з геології

- | | |
|--|--------------------------------------|
| 1. Бабій Максим Васильович | 14. Звір Арсен Миколайович |
| 2. Барничко Наталія Василівна | 15. Ірчак Михайло Юрійович |
| 3. Бесараб Максим Миколайович | 16. Курбатова Ангеліна Леонідівна |
| 4. Білай Вероніка Павлівна | 17. Лосєва Олександра Олександрівна |
| 5. Білань Михайло Богданович | 18. Манько Любомир Ігорович |
| 6. Білобородов Олександр Олександрович | 19. Мартинюк Дарина Олександрівна |
| 7. Гайовський Дмитро Олегович | 20. Павленко Анастасія Олександрівна |
| 8. Гантулга Монх-Ердєне | 21. Польовий Богдан Петрович |
| 9. Гарасєвич Ростислав Васильович | 22. Соколов Сергій Михайлович |
| 10. Гладченко Матвій Сергійович | 23. Федюра Ярина Василівна |
| 11. Госєдло Андрій Олексійович | 24. Чаргавий Богдан Васильович |
| 12. Гоцуляк Юлія Анатоліївна | 25. Чирик Віолетта Василівна |
| 13. Дулько Ярослав Васильович | 26. Яреміч Максим Сергійович |

Фахівець з комп'ютерних технологій в науках про Землю

- | | |
|---------------------------|--------------------------|
| 1. Бабаєва Тавус | 13. Мугієв Вепа |
| 2. Базаров Гуванч | 14. Нарлієв Овєзгєлді |
| 3. Балтаєв Торекули | 15. Нармурадов Асатбек |
| 4. Бєгмирадов Максатмират | 16. Нармурадов Фахріддін |
| 5. Бєчхімов Абдилла | 17. Оралова Шасєнем |
| 6. Джумаєв Кємал | 18. Рєджєпов Максат |
| 7. Дурдїбасєв Гурбанмират | 19. Розїмурадова Джєннєт |
| 8. Гаррієв Аманніяз | 20. Сєїдов Мєрєт |
| 9. Гурбанніязов Чари | 21. Тоев Бєрдїмират |
| 10. Джумаков Джумак | 22. Чарієв Какаджан |
| 11. Жамшїдов Шухрат | 23. Шамирадов Езїз |
| 12. Мєнлієв Бєгтіяр | 24. Язов Мєкан |

ЗМІСТ

Микола Павлунь

ДЕЯКІ ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ ТЕРМОБАРОГЕОХІМІЇ МОЛБІДЕН-
ВОЛЬФРАМОВИХ І ЗОЛОТОРУДНИХ ФОРМАЦІЙ.....3

Петро Волошин, Ганна Бучацька, Валентина Марусяк

ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ГЛИН КОСІВСЬКОЇ СВІТИ
ТЕРИТОРІЇ ЛЬВОВА ТА ЇХНЯ ЕКОЛОГІЧНА РОЛЬ.....13

Мирон Ковальчук, Любов Фігура

РУДОНОСНІСТЬ ДІЛЯНКИ СЕРЕДНЯ МЕЖИРІЧНОГО РОДОВИЩА
ТИТАНОВИХ РУД.....25

Олександр Вовк, Ігор Наулко, Галина Занкович

КРИСТАЛОГЕНЕЗИС КАЛЬЦИТУ СІРЧАНИХ РОДОВИЩ ПРИКАРПАТТЯ.....44

Ihor Hubych, Ihor Shaynoha, Yurii Baloh, Valentyn Ilchuk

CONDITIONS OF THE HEAVY OILS GENERATION
AND THEIR DISTRIBUTION IN THE TERRITORY OF UKRAINE.....53

Уляна Борняк, Марина Рагуліна, Олег Орлов

ТРАВЕРТИНОУТВОРЮЮЧІ КОМПЛЕКСИ ПАРКОВИХ АНСАМБЛІВ
ЗАХІДНОГО ПОДІЛЛЯ.....62

Лариса Генералова, Тетяна Дворжак, Євген Дворжак,

Антон Генералов, Софія Янбашева

ПОДІСВІ УТВОРЕННЯ МІОЦЕНОВИХ ВІДКЛАДІВ В МЕЖАХ
ЗАХІДНИХ ОКОЛИЦЬ ГОЛОГІРСЬКОГО ГОРБІГІР'Я.....72

Олександр Костюк, Олег Коба

ЛІТОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВМІСНИХ ПОРІД ТА ПРОСТОРОВЕ
РОЗТАШУВАННЯ ПІЗНЬОКРЕЙДОВОЇ ЕКЗОТИКИ У РОЗРІЗАХ
СТРИЙСЬКОЇ СВІТИ СКИБОВОЇ ЗОНИ КАРПАТ.....84

Нікіта Храмов

EXPLICIT, IMPLICIT TA AI-MODELЮВАННЯ В ГЕОЛОГІЇ:
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ І ПЕРСПЕКТИВИ ІНТЕГРАЦІЇ.....94

Лев Ємець

АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОВЕДЕННЯ РОЗШИРЕННОГО КОМПЛЕКСУ
ГЕОЛОГО-ГЕОХІМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ГЕОНАВІГАЦІЇ
ПРИ БУРІННІ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ СВЕРДЛОВИН.....103

Danylo Borniak, Iryna Poberezhska, Kateryna Borniak

OLD RED DEVONIAN SANDSTONES IN THE ARCHITECTURE OF LVIV:
KEY HISTORICAL STAGES AND APPLICATION FEATURES.....108

*Олександр Шваєвський, Юрій Віхоть, Леонід Скакун, Василь Микитчин,
Надія Словотенко, Соломія Кріль, Євгеній Мороз*

ІСТОРІЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПЕРСПЕКТИВИ НАФТОГАЗОНОСНОСТІ ЛЬВІВСЬКОГО
ПАЛЕОЗОЙСЬКОГО ПРОГИНУ.....117

Тетяна Кошлякова

РОЛЬ ВОДНОГО ЧИННИКА У ФОРМУВАННІ ЗДОРОВ'Я СПОЖИВАЧІВ
ПІДЗЕМНИХ ВОД ТА БІОГЕОХІМІЧНІ КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ЇХ ЯКОСТІ.....129

Павло Скибіцький

ГЕОЛОГО-ЕКОНОМІЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ БУДІВЕЛЬНОЇ СИРОВИНИ
ЗАХІДНОГО РЕГІОНУ УКРАЇНИ.....140

Володимир Петришин

ПІДЗЕМНА ДОРОЗВІДКА РОДОВИЩ КАЛІЙНИХ СОЛЕЙ
ПЕРЕДКАРПАТСЬКОГО ПРОГИНУ ЗАХІДНОГО РЕГІОНУ УКРАЇНИ..... 145

Василь Дяків, Назар Борис, Василь Павлюк, Михайло Яремович

ГЕОЛОГІЧНИЙ ФЕНОМЕН ПРОЯВУ ГРЯЗЕВОГО ВУЛКАНІЗМУ 26–27 КВІТНЯ
2023 Р. У С. РОЗВАДІВ СТРИЙСЬКОГО РАЙОНУ ЛЬВІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....158

ВТРАТИ НАУКИ

Галина Гоцанюк, Антоніна Іваніна

ПАМ'ЯТІ ВИДАТНОГО ВЧЕНОГО-ГЕОЛОГА ПРОФЕСОРА
ЮРІЯ ЗИНОВІЙОВИЧА КРУПСЬКОГО.....170

ВИПУСКНИКИ ГЕОЛОГІЧНОГО ФАКУЛЬТЕТУ (2024 ТА 2025 РОКІВ).....177

CONTENTS

<i>Mykola Pavlun</i> SOME APPLIED ASPECTS OF THERMOBAROGEOCHEMISTRY OF MOLYBDENUM-TUNGSTEN AND GOLD ORE FORMATIONS.....	3
<i>Petro Voloshyn, Hanna Buchatska, Valentyna Marusyak</i> ENGINEERING-GEOLOGICAL PROPERTIES OF THE KOSIV FORMATION CLAYS IN THE LVIV AREA AND THEIR ENVIRONMENTAL ROLE.....	13
<i>Myron Kovalchuk, Liubov Figura</i> ORE-BEARING CAPACITY OF THE SEREDNIA SECTION OF THE MEZHRYCHNE TITANIUM ORE DEPOSIT.....	25
<i>Oleksandr Vovk, Ihor Naumko, Halyna Zankovych</i> CRYSTAL GENESIS OF CALCITE FROM SULFUR DEPOSITS OF PRYKARPATTYA.....	44
<i>Ihor Hubyh, Ihor Shaynoha, Yurii Baloh, Valentyn Ilchuk</i> CONDITIONS OF THE HEAVY OILS GENERATION AND THEIR DISTRIBUTION IN THE TERRITORY OF UKRAINE.....	53
<i>Ulyana Bornyak, Marina Ragulina, Oleg Orlov</i> TUFAGENOUS COMPLEXES OF THE PARK ENSEMBLES OF WESTERN PODILLIA.....	62
<i>Larysa Heneralova, Tetyana Dvorzhak, Evhen Dvorzhak, Anton Heneralov, Sofiia Yanbasheva</i> EVENTUAL FORMATIONS OF MIOCENE DEPOSITS WITHIN THE WESTERN VICINITIES OF THE HOLOGIRSKI GORBOGIR MOUNTAINS.....	72
<i>Oleksandr Kostiuk, Oleh Koba</i> LITHOLOGICAL FEATURES OF THE CONTAINING ROCKS AND SPATIAL DISTRIBUTION OF LATE CRETACEOUS EXOTIC IN SECTIONS OF THE STRIYA WORLD OF THE SKIBOVA ZONE OF THE CARPATHIANS.....	84
<i>Nikita Khramov</i> EXPLICIT, IMPLICIT AND AI-BASED MODELING IN GEOLOGY: COMPARATIVE ANALYSIS AND INTEGRATION PROSPECTS.....	94
<i>Lev Yemets</i> THE RELEVANCE OF CONDUCTING AN EXTENSIVE SET OF GEOLOGICAL AND GEOCHEMICAL STUDIES AND GEO-NAVIGATION DURING THE DRILLING OF HORIZONTAL WELLS.....	103

<i>Danylo Borniak, Iryna Poberezhska, Kateryna Borniak</i> OLD RED DEVONIAN SANDSTONES IN THE ARCHITECTURE OF LVIV: KEY HISTORICAL STAGES AND APPLICATION FEATURES.....	108
<i>Oleksandr Shvaievskiy, Yuriy Vikhot, Leonid Skakun, Vasyl Mykytchyn, Nadiia Slovotenko, Solomiia Kril, Yevhenii Moroz</i> HISTORY OF EXPLORATION AND PETROLEUM POTENTIAL OF THE LVIV PALEOZOIC TROUGH.....	117
<i>Tetiana Koshliakova</i> THE IMPACT OF WATER QUALITY ON GROUNDWATER CONSUMERS' HEALTH AND BIOGEOCHEMICAL CRITERIA FOR QUALITY ASSESSMENT.....	129
<i>Pavlo Skibytskyi</i> GEOLOGICAL AND ECONOMIC POTENTIAL OF CONSTRUCTION RAW MATERIALS OF THE WESTERN REGION OF UKRAINE.....	140
<i>Volodymyr Petryshyn</i> UNDERGROUND EXPLORATION OF POTASSIUM SALT DEPOSITS OF THE PRECARPATHIAN TREADMILL OF THE WESTERN REGION OF UKRAINE.....	145
<i>Vasyl Dyakiv, Nazar Borys, Vasyl Pavlyuk, Mykhailo Yaremowych</i> GEOLOGICAL PHENOMENON OF MUD VOLCANOSIS ON APRIL 26–27, 2023 IN THE VILLAGE OF ROZVADIV, STRYI DISTRICT, LVIV REGION.....	158

SCIENTIFIC LOSSES

<i>Halyna Hotsanyuk, Antonina Ivanina</i> IN MEMORY OF THE OUTSTANDING SCIENTIST AND GEOLOGIST, PROFESSOR YURIY ZINOVYOVYCH KRUPSKYL.....	170
GEOLOGICAL FACULTY GRADUATES (2024 AND 2025).....	177

НОТАТКИ